



HAL
open science

Cadrage général pour une évaluation des performances des action de sécurité routière.

Romain Fricheteau

► **To cite this version:**

Romain Fricheteau. Cadrage général pour une évaluation des performances des action de sécurité routière.. Autre. Ecole Centrale Paris, 2011. Français. NNT : 2011ECAP0029 . tel-00711474

HAL Id: tel-00711474

<https://theses.hal.science/tel-00711474v1>

Submitted on 4 Jul 2014

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.



**ÉCOLE CENTRALE DES ARTS
ET MANUFACTURES
« ÉCOLE CENTRALE PARIS »**

THÈSE
présentée par

Romain FRICHETEAU

pour l'obtention du

GRADE DE DOCTEUR

Spécialité : Génie Industriel

Laboratoire d'accueil : LGI – Laboratoire de Génie Industriel

SUJET :

**Cadrage général pour une évaluation des
performances des actions de sécurité routière**

soutenue le : 7 Juillet 2011

devant un jury composé de :

Rapporteurs

Claudia ECKERT
Michel TOLLENAERE

Professeur Engineering Design Center, University of Cambridge
Professeur , Grenoble INP

Examineurs

Thierry FOURNEL

Professeur des Universités, Université Jean Monnet, Laboratoire
Hubert Curien, UMR CNRS-UJM 5516

Yves PAGE

RENAULT. Domained'Expertise Stratégique 'Road safety' -
Expert 'Accident Research'

Thierry HERMITTE

Accidentologiste, LAB

Jean-Yves LE COZ

PAST Arts et MétiersParisTech

Jean François HUERE

PSA Peugeot-Citroën -Responsable Sécurité et ITS à la Direction
des RelationsInstitutionnelles

Jean-Claude BOCQUET

Professeur, Ecole Centrale Paris

Directeur de thèse

Mounib MEKHILEF

Maître de Conférences, HDR, Université d'Orléans

2011ECAP0029

REMERCIEMENT

Je tiens à remercier très chaleureusement mes encadrants de thèse, directeur et encadrants de thèse, Mounib Mekhilef, Yves Page et Thierry Hermitte pour leur encadrement, pour leur travail mené durant les longues réunions, pour leur capacité à toujours poser les questions pertinentes qui m'ont fait approfondir mes réflexions, pour leur investissement dans la correction du mémoire final et pour leurs qualités humaines. Tout ce travail est né de leur collaboration et de leur implication dans le domaine de la sécurité routière et du génie industriel. Au plaisir de continuer à travailler avec eux et toujours avec la même exigence.

J'adresse mes remerciements aux rapporteurs de ce travail de recherche Claudia Eckert et Michel Tollenaere qui ont su apporter un regard critique et constructif sur ce mémoire. Je remercie également Jean-Claude Bocquet, Jean-Yves Le Coz et Jean-François Huère pour avoir accepté de faire parti du jury et Thierry Fournel pour avoir accepté de présider le jury.

Merci à l'ensemble du personnel du LAB et du CEESAR pour son soutien et sa bonne humeur. Je remercie en particulier Vuthy, Mathieu, Reakka, Julien, Clément, Véronique, Sophie, Philippe, Martine, Fatima, Jean-marc et Lionel.

Je remercie également le Laboratoire de Génie Industriel pour son accueil toujours chaleureux. Merci à Jean-Claude Bocquet, directeur du LGI de m'avoir accueilli au sein de son équipe de recherche et à Anne, Carole, Corinne et Sylvie pour leur aide pendant ces années de thèse. Je remercie particulièrement Aude et Moustapha pour m'avoir accompagné dans le groupe de travail sur la systémique.

Merci à Camille pour avoir été présente pendant ces années de thèse. Merci pour ta patience et ton soutien sans faille. Je remercie ma famille pour avoir été présente pendant ces années lors desquelles elle a toujours été là pour me soutenir. Enfin je remercie mes amis qui, de près ou de loin, m'ont soutenu.

Merci à Idy Camara qui a su rendre opérationnel une partie du travail présenté dans ce mémoire pendant la réalisation d'un stage programmation au sein du LAB.

GLOSSAIRE

ABS : Anti Blocking System, système d'anti blocage des roues

BAAC : Bulletin d'Analyse d'Accident Corporel de la circulation routière en France

CEESAR : Centre Européen d'Etude de Sécurité et Analyse des Risques

Connaissance : c'est une information prise dans un contexte qui est interprétée par un humain en fonction de ses croyances et de son expérience. Elle est utilisée par le sujet connaissant pour la réalisation de ses activités. Enfin, elle est créée et évolue par apprentissage, par identification ou par construction

Constructiviste : paradigme épistémologique qui considère le caractère relatif et évolutif de la connaissance. Celle-ci n'existe que pour un contexte particulier et pour un observateur donné (en fonction de son expérience et de ses connaissances)

DaCoTa (Data Collection Transfer & Analysis - <http://www.dacota-project.eu>): projet européen de recherche en accidentologie.

EDA : Etudes Détaillées d'Accidents

Epistémologie : branche de la philosophie des sciences qui est définie comme « *l'étude la constitution des connaissances valables* » (Le Moigne, 1999)

ESC : système de contrôle électronique de Stabilité, également dénommé : ESP (Electronic Stability Program), DSC (Dynamic Stability Control), VSA (Vehicle Stability Assist), VSC (Vehicle Stability Control) ou autres

Evaluateur : celui qui a en charge la conception et la réalisation de l'activité d'évaluation

Evaluation : activité dont l'objectif est de construire, grâce à des outils et méthodes, des jugements de valeur et/ou de mesurer les performances d'un système par rapport à un besoin identifié

INCOSE : international Council on Systems Engineering, Conseil international sur les systèmes d'ingénierie

Indicateur : objet mathématiquement définissable qui renseigne de façon objectif sur la performance d'une stratégie de sécurité par rapport à des enjeux

LAB : Laboratoire d'Accidentologie et de Biomécanique, PSA Peugeot-Citroën Renault

LDW : Lane Departure Warning, alarme de sortie de voie

Méta-modèle ou modèle conceptuel : La construction d'un modèle de l'activité d'évaluation revient à développer un méta-modèle (au sens de la systémographie) ou un modèle conceptuel (au sens de l'ingénierie des connaissances). Tous deux sont un ensemble de connaissances ; celles du domaine (le savoir) et celles de raisonnement (le savoir faire – tâches et méthodes)

Modèle : représentations intelligibles de la réalité perçue par lesquelles nous sommes amenés à raisonner et à communiquer

MySQL : système de gestion de base de données open source.

Paradigme : employé pour définir un modèle de pensée pour des disciplines scientifiques telles que l'évaluation ou la modélisation de connaissances

Partie prenante (« stakeholder »): personne ou groupe de personne en lien avec les problématiques de sécurité routière et/ou les évaluations

PHP (Hypertext Preprocessor) : Langage permettant la création de site web dynamique. Utilisé dans notre travail, en lien avec MySQL, pour la création d'une application web.

Positiviste : paradigme épistémologique qui considère le caractère absolu, stable et déterministe de la connaissance. Le contexte de modélisation et l'observateur/modélisateur ne sont pas pris en compte

Stratégie de sécurité : décrit la coordination des actions de sécurité mises en œuvre afin d'atteindre un objectif précis. Parmi les actions de sécurité routière, nous distinguons les mesures de sécurité (réglementation, formation, etc.) et les systèmes technologiques de sécurité

Systèmes de communication Car to X (nommé C2X) : Ces systèmes permettent la communication entre véhicules et entre les véhicules et l'infrastructure. Leur objectif est de fournir des services aux usagers. Ces derniers concernent trois domaines : la sécurité routière, le management du trafic routier et l'« infotainment » (mixte d'information et de divertissement)

Systemique : théorie générale de modélisation des connaissances reposant sur des méthodologies et pratiques dans l'objectif est l'étude des systèmes considérés comme complexes

UML : Unified Modeling Language, langage de modélisation unifié

Table des matières

Guide de lecture	12
Partie I – Contexte et présentation de la problématique.....	16
CHAPITRE 1. CONTEXTE DE RECHERCHE	16
1.1. LA SÉCURITÉ ROUTIÈRE.....	16
<i>1.1.1. Etat des lieux de la situation en sécurité routière</i>	<i>16</i>
<i>1.1.2. La compréhension des accidents de la route.....</i>	<i>18</i>
<i>1.1.3. Les stratégies pour l'amélioration de la sécurité routière</i>	<i>20</i>
<i>1.1.4. Synthèse sur la situation en sécurité routière</i>	<i>22</i>
1.2. LE LAB.....	23
1.3. USAGE DE L'ÉVALUATION EN SÉCURITÉ ROUTIÈRE	25
CHAPITRE 2. PROBLÉMATIQUE ET CONTENU DU TRAVAIL DE RECHERCHE	26
2.1. PROBLÉMATIQUE GÉNÉRALE DU TRAVAIL DE RECHERCHE.....	26
2.2. CONTENU DU TRAVAIL DE RECHERCHE.....	28
Synthèse de la Partie 1	29
Partie II - Problèmes de l'évaluation en sécurité routière	30
CHAPITRE 3. L'ACTIVITÉ D'ÉVALUATION.....	31
3.1. LES PRATIQUES DE L'ÉVALUATION EN SÉCURITÉ ROUTIÈRE.....	33
<i>3.1.1. L'évaluation pour la mesure de l'efficacité</i>	<i>33</i>
<i>3.1.2. L'évaluation pour le management de la sécurité routière</i>	<i>35</i>
3.2. CARACTÉRISATION DE L'ACTIVITÉ D'ÉVALUATION EN SÉCURITÉ ROUTIÈRE.....	37
<i>3.2.1. Les acteurs de l'évaluation et leurs attentes</i>	<i>37</i>
<i>3.2.2. Les finalités</i>	<i>39</i>
3.3. INDICATEUR D'ÉVALUATION EN SÉCURITÉ ROUTIÈRE	41
<i>3.3.1. Description structurelle des indicateurs</i>	<i>41</i>
<i>3.3.2. La génération des indicateurs.....</i>	<i>42</i>
<i>3.3.3. Utilisation des indicateurs</i>	<i>43</i>
<i>3.3.4. Evolution des indicateurs.....</i>	<i>44</i>
3.4. CARACTÉRISATION GÉNÉRALE DE L'ACTIVITÉ D'ÉVALUATION.....	45
<i>3.4.1. Les définitions</i>	<i>45</i>
<i>3.4.2. Les paradigmes évaluatifs.....</i>	<i>47</i>
<i>3.4.3. L'évolution de l'activité d'évaluation</i>	<i>49</i>
<i>3.4.4. La performance et le jugement de valeur.....</i>	<i>50</i>
3.4.4.1. Le carré des performances.....	50
3.4.4.2. Transformation de la performance dans le milieu industriel	51

3.4.4.3. Le jugement de valeur.....	53
3.5. SYNTHÈSE.....	55
CHAPITRE 4. CADRE DE RÉFLEXION ET POSITIONNEMENT	56
4.1. ENJEUX LIÉS À LA COMPLEXITÉ.....	56
4.1.1. Définition de la complexité dans le cadre des travaux de J-L. Le Moigne et E. Morin.....	57
4.1.2. La complexité du système routier et de l'évaluation	59
4.1.3. Positionnement épistémologique	61
4.2. ENJEUX ET POSITIONNEMENT SUR LA MODÉLISATION DES CONNAISSANCES	62
4.2.1. Enjeux sur l'activité de modélisation	62
4.2.2. Positionnement par rapport à l'activité de modélisation	62
4.3. ENJEUX ET POSITIONNEMENT DE LA CONCEPTION DES ÉVALUATIONS.....	63
4.3.1. Enjeux sur la conception des indicateurs	63
4.3.2. Positionnement par rapport à l'activité de conception	64
4.4. SYNTHÈSE.....	65
Partie III - Cadre et positionnements théoriques	66
CHAPITRE 5. COMPLEXITÉ ET MODÉLISATION SYSTÉMIQUE	67
5.1. LA RECHERCHE D'UN POSITIONNEMENT ÉPISTÉMOLOGIQUE.....	67
5.1.1. Le positivisme	68
5.1.2. Le constructivisme	69
5.1.3. L'adoption d'une épistémologie selon Le Moigne.....	70
5.2. THÉORIE GÉNÉRALE DES SYSTÈMES ET SYSTÉMIQUE	71
5.2.1. La notion de modèle	71
5.2.2. Notions historiques sur la systémique	71
5.2.3. La systémique	73
5.2.4. Opérationnalisation de la systémique	74
5.2.5. Positionnement par rapport à l'ingénierie système.....	77
5.3. VALIDATION DES CONNAISSANCES.....	77
5.4. SYNTHÈSE ET RAPPELS	80
CHAPITRE 6. MODÉLISATION DES CONNAISSANCES ET INGÉNIERIE DE LA CONNAISSANCE.....	81
6.1. DÉFINITION DE LA CONNAISSANCE.....	82
6.2. L'INGÉNIERIE DES CONNAISSANCES (IC).....	84
6.3. LES MÉTHODES DE MODÉLISATION DES CONNAISSANCES	85
6.3.1. Construction du modèle conceptuel du domaine.....	85
6.3.2. Opérationnalisation des modèles de connaissances.....	87
6.4. LA VALIDATION DES MODÈLES DE CONNAISSANCES	87
6.5. MÉMOIRE DE PROJET.....	88
6.6. SYNTHÈSE ET RAPPELS	90

CHAPITRE 7. LES THÉORIES DE LA CONCEPTION	91
7.1. DÉFINITION DE L'ACTIVITÉ DE CONCEPTION	91
7.2. IDENTIFICATION D'UNE THÉORIE POUR LA CONCEPTION DES INDICATEURS	93
7.2.1. <i>Caractérisation de l'activité de conception</i>	93
7.2.1.1. Les cinq modèles mentaux de la conception	93
7.2.1.2. La décomposition modulaire de la conception	94
7.2.2. <i>Caractérisation des théories de conception existantes</i>	95
7.2.3. <i>Les besoins en conception par rapport à l'activité d'évaluation et la génération des</i> <i>indicateurs.....</i>	97
7.2.4. <i>Adoption d'une théorie de conception.....</i>	99
7.2.5. <i>La théorie C-K</i>	100
7.3. SYNTHÈSE ET POSITIONNEMENT	103
Partie IV - Extraction & modélisation de la connaissance sur l'évaluation	104
CHAPITRE 8. DÉMARCHE GÉNÉRALE POUR LA MODÉLISATION DE L'ACTIVITÉ D'ÉVALUATION	105
8.1. POSITIONNEMENT PAR RAPPORT À L'ACTIVITÉ D'ÉVALUATION	105
8.2. MÉTHODOLOGIE DE CONSTRUCTION DU MODÈLE DE L'ÉVALUATION	106
8.2.1. <i>La systémographie et la modélisation des connaissances.....</i>	106
8.2.2. <i>Détails sur la formalisation de notre système général.....</i>	108
8.2.3. <i>Réalisation de séance de travail sur le thème de l'activité d'évaluation</i>	109
8.2.3.1. Motivation de la réalisation des séances de travail	109
8.2.3.2. Méthodologie de réalisation des séances	110
La conception des séances de travail	110
La réalisation des séances.....	112
Traitement et valorisation des résultats	112
8.2.3.3. Les résultats des séances de travail.....	113
Première étape : brainstorming sur le thème de l'évaluation	113
Deuxième étape : présentation théorique et discussion	113
Troisième étape : travail en groupe sur l'évaluation d'un système de sécurité.....	114
8.2.3.4. Synthèse et valorisation des résultats des séances de travail	115
8.2.4. <i>Détails sur la structure du méta-modèle - Le langage UML.....</i>	115
8.3. CADRAGE DES PHASES AMONT DE L'ACTIVITÉ D'ÉVALUATION	117
8.4. SYNTHÈSE	121
CHAPITRE 9. MODÉLISATION DU CAS D'ÉVALUATION	122
9.1. MOTIVATIONS ET OBJECTIFS DE LA PHASE D'ANALYSE DES CAS D'ÉTUDE	123
9.2. MÉTA-MODÈLE POUR LA MODÉLISATION DES ATTENTES DES PARTIES PRENANTES	124
9.3. MÉTA-MODÈLE POUR LA MODÉLISATION DES STRATÉGIES DE SÉCURITÉ	131
9.3.1. <i>Les concepts</i>	131

9.3.2. La structuration des concepts pour la modélisation.....	132
--	-----

9.4. SYNTHÈSE.....	137
---------------------------	------------

CHAPITRE 10. MODÉLISATION DES INDICATEURS D'ÉVALUATION 138

10.1. MOTIVATIONS ET OBJECTIFS DE LA MODÉLISATION DES INDICATEURS D'ÉVALUATION	139
---	------------

10.2. PROPOSITION D'UNE DÉFINITION D'UN INDICATEUR.....	139
--	------------

10.3. DESCRIPTION MATHÉMATIQUE DES INDICATEURS D'ÉVALUATION	141
--	------------

10.3.1. La métrique.....	141
--------------------------	-----

10.3.2. Indicateur élémentaire et indicateur.....	142
---	-----

10.4. SYNTHÈSE.....	145
----------------------------	------------

Partie V - Opérationnalisation et mise en œuvre 146

CHAPITRE 11. APPLICATION DE LA MODÉLISATION DU CAS D'ÉVALUATION . 147

11.1. DESCRIPTION FONCTIONNELLE DE L'APPROCHE DE MODÉLISATION DES ATTENTES DES PARTIES PRENANTES ET DES PROBLÈMES D'ÉVALUATION.....	147
--	------------

11.1.1. Diagramme pour la déclaration des requêtes d'évaluation	147
---	-----

11.1.2. Les diagrammes pour la déclaration d'un cas d'évaluation	149
--	-----

11.1.3. Conception et extension des problèmes d'évaluation.....	153
---	-----

11.2. DESCRIPTION FONCTIONNELLE DE L'APPROCHE DE MODÉLISATION DES STRATÉGIES DE SÉCURITÉ	155
---	------------

11.2.1. Retranscription des informations sur les stratégies de sécurité	155
---	-----

11.2.2. Evolution des modèles des stratégies de sécurité	157
--	-----

11.3. SOLUTION LOGICIELLE.....	159
---------------------------------------	------------

11.4. SYNTHÈSE.....	162
----------------------------	------------

CHAPITRE 12. LA GÉNÉRATION D'INDICATEURS D'ÉVALUATION 163

12.1. PRINCIPE GÉNÉRAL DE LA GÉNÉRATION DES INDICATEURS.....	163
---	------------

12.2. CONSTRUCTION DES INDICATEURS PAR LA RÉUTILISATION.....	165
---	------------

12.3. GÉNÉRATION DES INDICATEURS PAR L'UTILISATION DE L'APPROCHE AUTOMATIQUE DE CONCEPTION	169
---	------------

12.4. GÉNÉRATION DES INDICATEURS PAR L'UTILISATION DE LA THÉORIE C-K.....	172
--	------------

12.4.1. Conception d'indicateurs à partir de connaissances existantes	173
---	-----

12.4.2. Conception d'indicateurs et extension des connaissances	174
---	-----

12.4.3. Fin du raisonnement de conception.....	179
--	-----

12.5. SYNTHÈSE.....	181
----------------------------	------------

Synthèse des travaux.....	182
---------------------------	-----

Limitations sur l'utilisation des résultats	189
---	-----

Discussion.....	190
-----------------	-----

Perspectives	191
--------------------	-----

Bibliographie	192
---------------------	-----

Annexe	199
A.1 - Cahier des charges de l'application informatique	199
Documents complémentaires	233
Document 1 - Les indicateurs économiques.....	233
Document 2 - Eléments de connaissance sur les pratiques de l'évaluation en sécurité routière.....	237
Document 3 - Formulaire de la requête d'évaluation	242

Guide de lecture

Le bilan des accidents de la route en termes de tués ou de blessés fait de la sécurité routière un enjeu majeur que ce soit pour les pays développés ou les pays émergents. Cet enjeu est considéré aussi bien d'un point de vue santé publique, que technologique, économique, environnemental, juridique, et politique. Afin d'apporter des solutions, des contremesures sont conçues et mises en œuvre. Elles sont par exemple des lois, des systèmes technologiques, des recommandations, des actions de formation et de prévention, etc. Afin de garantir le développement de ces contre-mesures (ou stratégies de sécurité) une évaluation de leurs performances est nécessaire. Elle fournit en effet des connaissances pertinentes pour leur conception, leur validation ou encore leur optimisation. Sa réalisation repose principalement sur les compétences des experts ainsi que sur des modèles. Néanmoins, de nombreux développements la concernant sont nécessaires. Ils concernent aussi bien les enjeux théoriques de formalisation de l'activité d'évaluation que les enjeux opérationnels sur l'utilisation des données et des outils (exemple des outils statistiques). C'est sur cette thématique que repose le travail de recherche présenté dans ce mémoire.

Le laboratoire d'Accidentologie et de Biomécanique (LAB), qui a entre autres pour mission la réalisation d'évaluations, est à l'origine de notre travail de recherche sur l'évaluation¹. Nous nous focalisons sur la construction d'un guide méthodologique à destination des évaluateurs. Nous partons du constat que les méthodes actuelles manquent de formalisation. De plus, nous observons que la complexité du système routier et la diversité des attentes des parties prenantes² des évaluations ne sont pas suffisamment prises en compte.

Pour traiter ces enjeux, nous proposons un cadre conceptuel de l'activité d'évaluation à destination des évaluateurs. L'objectif est de leur proposer un guide qui les aidera à réaliser des évaluations pertinentes par rapport aux besoins et au contexte. Ce cadre est décrit par des modèles structurels regroupant les éléments nécessaires à la réalisation des évaluations et des modèles fonctionnels décrivant les activités à réaliser par les évaluateurs.

Ce mémoire de thèse est structuré autour de cinq parties chacune décomposée en chapitres. Ces différentes parties sont présentées sur la Figure A et sont détaillées dans les points suivants :

¹ Le contenu de ce mémoire n'engage la responsabilité que de l'auteur, il ne reflète pas nécessairement les opinions du LAB ou l'école Centrale Paris. Les erreurs éventuelles relèvent de l'entière responsabilité du seul auteur.

² Les parties prenantes (les « *stakeholders* ») sont les personnes ou groupe de personnes en lien avec la sécurité routière (les constructeurs automobiles, les pouvoirs publics, les usagers, les assureurs, les laboratoires de recherche, etc.). Vis-à-vis de l'évaluation, chacune d'entre elle peut émettre des questions d'évaluation en relation avec les besoins de son activité.

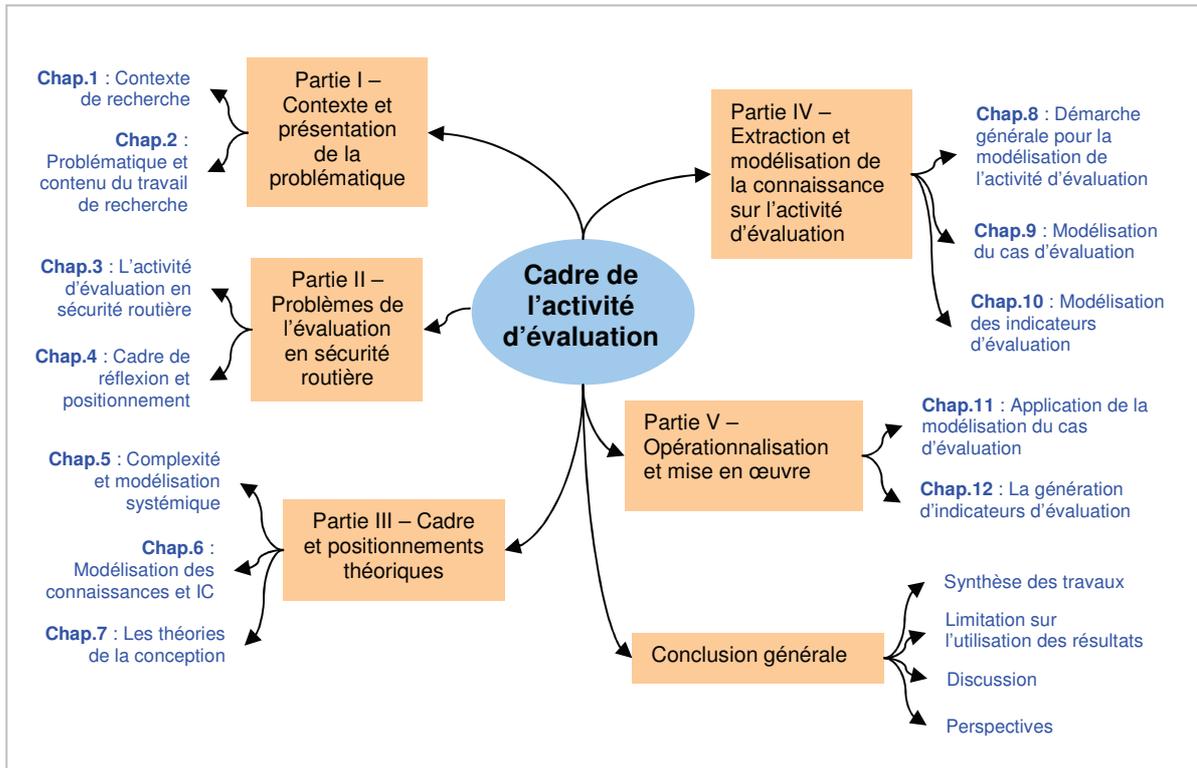


Figure A - Guide de lecture du mémoire

- Pour bien comprendre les enjeux actuels liés à la sécurité routière et à l'activité d'évaluation qui sont à la base de notre recherche, nous exposons dans la partie I le contexte (chapitre 1) et notre problématique (chapitre 2). Nous cherchons à développer un modèle général de l'évaluation qui soit adapté à la complexité du système routier et à la diversité des attentes d'évaluation et des stratégies de sécurité à évaluer.
- L'évaluation est une activité utilisée dans de nombreux domaines et qui fait l'objet de recherches diverses et variées. Le chapitre 3 a pour objectif de faire un état de l'art sur les méthodes et enjeux de l'évaluation en sécurité routière mais aussi dans d'autres domaines tels que l'ingénierie ou l'éducation. L'objectif de construire un modèle général de l'évaluation implique une réflexion sur la complexité des systèmes/objets modélisés, sur la construction de modèles (modélisation de connaissances) et enfin sur la nécessité de construire des évaluations adaptées à l'évolution permanente de son environnement (besoin d'une approche de conception). Nous détaillons ces trois points dans le chapitre 4 en présentant nos enjeux vis-à-vis de la complexité, de la modélisation des connaissances et de l'activité de conception.
- L'analyse de ces différents enjeux liés à l'activité d'évaluation justifie le besoin de faire appel à des domaines scientifiques de recherche. Du chapitre 5 au chapitre 7 (Partie III), nous présentons des états de l'art sur les trois domaines suivants : la modélisation systémique, l'ingénierie de la connaissance et les théories de conception. Ces trois domaines sont pertinents vis-à-vis des enjeux que nous avons identifiés sur la pratique de l'évaluation en sécurité routière. Cette partie fournit les éléments théoriques, nécessaires pour apporter des solutions aux problèmes rencontrés. Elle constitue la base théorique sur laquelle repose, en partie, notre travail de modélisation.

- Les connaissances formalisées dans les différents états de l'art sont utilisées pour la spécification d'une démarche générale de modélisation de l'activité d'évaluation dans le contexte spécifique de la sécurité routière (chapitre 8). Elle est une approche mixte de modélisation basée en (1) sur la systémique et le modèle général de l'évaluation et en (2) sur les pratiques existantes. A partir de l'analyse des pratiques évaluatives, nous avons décidé de focaliser notre recherche sur les deux premières étapes de l'activité d'évaluation (analyse du cas d'étude et conception des méthodes et indicateurs d'évaluation). Ce sont les deux étapes qui nécessitent actuellement le plus de développements dans le domaine de la sécurité routière. Pour chacune d'elle, des modèles ontologiques (structurels) sont proposés. Ils sont exposés dans les chapitres 9 et 10.
- La dernière partie a pour objectif de détailler la mise en œuvre des résultats énoncés dans la partie précédente. Les deux chapitres qui composent cette partie sont consacrés à la description des modèles fonctionnels qui guident les évaluateurs dans la réalisation des évaluations.

Les parties ont été conçues et organisées de façon à s'adapter aux différents besoins des lecteurs. Nous avons distingué les parties théoriques des parties opérationnelles. De ce fait, les évaluateurs, qui sont les destinataires premiers des résultats du travail de recherche, trouveront dans les parties I, II et V des connaissances opérationnelles sur le sujet de thèse et sur les résultats. Les parties III et IV fournissent en plus des connaissances théoriques sur les disciplines utilisées, sur notre méthodologie de construction et les théories utilisées. Elles sont à destination des lecteurs qui souhaitent parcourir notre recherche dans son intégralité.

Le plan a été construit à partir des contraintes d'utilisation (différents destinataires avec des attentes variées) et une construction académique. Il est issu d'un processus de négociation – consensus pour satisfaire différents besoins.

Dans certaines sections, des paragraphes servent de synthèses ou mettent en avant une connaissance ou un positionnement essentiel dans notre travail de recherche. Ces paragraphes sont rédigés en « gras » afin d'être identifiable.

Afin d'illustrer nos propos, nous avons développé un exemple « fil rouge » tout au long du mémoire. Il est basé sur l'évaluation des systèmes de communications véhicule/véhicule ou véhicule/infrastructure (nommé C2X³ dans la suite du mémoire). Il est parfois accompagné d'autres illustrations basées sur des stratégies de sécurité diverses. Tous ces exemples ont été sélectionnés par rapport à leur pertinence vis-à-vis des enjeux d'évaluation mais aussi par la volonté de traiter des

³ Le C2X est par exemple étudié et développé dans le cadre de projet nationaux et internationaux mais aussi dans des consortiums tels que : le projet **CVIS** (*Cooperative Vehicle-Infrastructure Systems*), le projet **SCOREF** (*Système COopératif Routier Expérimental en France, un système de communications pour des routes et des infrastructures intelligentes*), le projet **SeVeCom** (*Secure Vehicular Communication*), le **CAR-2-CAR Communication Consortium**, ou encore le programme **PATH** (*California Partners for Advanced Transit and Highways*).

stratégies de sécurité diverses et variées (à la fois des systèmes technologiques ou des politiques par exemple). Leur traitement repose sur une mise en situation des propositions de ce travail de recherche. Ce travail a été effectué seul en se basant sur des états de l'art (compréhension des stratégies de sécurité et des questions/thématiques d'évaluation) ou par la réalisation de séances de travail. Tous ces exemples sont identifiables par une légende et une mise en forme dans un cadre.

Le travail présenté dans ce mémoire est retranscrit dans le projet Européen DaCoTa⁴. L'enjeu est de présenter et d'illustrer notre proposition pour une éventuelle utilisation dans un contexte de recherche européen (le rapport final associé sera disponible sur le site www.dacota-project.eu).

⁴ Data Collection Transfer & Analysis - <http://www.dacota-project.eu>. Ce projet a pour objectif premier de mettre en place un observatoire commun à tous les pays européens pour l'étude des accidents de la route.

Partie I – Contexte et présentation de la problématique

Chapitre 1. Contexte de recherche

1.1. La Sécurité Routière

La sécurité routière « a pour finalité spécifique d'assurer les déplacements routiers sans effets externes indésirables (e.g. sentiment d'insécurité, accidents de la route, blessures, etc.). Elle doit être assurée tant dans l'organisation des déplacements qu'à l'occasion de chaque déplacement » [Le Coz and Page, 2003].

Il existe au moins deux approches pour la sécurité routière. La première considère trois points de vue : la sécurité primaire (réduire le nombre d'accidents par leur évitement et leur prévention), la sécurité secondaire (augmenter la protection des occupants) et la sécurité tertiaire (améliorer les secours après accident). La seconde fait la distinction entre la sécurité active (référence aux contre-mesures nécessitant l'intervention du conducteur) et la sécurité passive (référence aux contre-mesures indépendantes du conducteur) [Perron and Bocquet, 1997] et [Ben Ahmed, 2004]. Ces deux approches sont utilisées de façon complémentaire afin de définir ce que l'on appelle la « sécurité intégrée » - de cette façon la sécurité est traitée dans sa globalité.

1.1.1. Etat des lieux de la situation en sécurité routière

L'accident de la route, qui est un événement soudain et involontaire, est la cause de nombreux dommages sur les personnes, les biens et l'environnement [Elvik and Vaa, 2004] & [Hollnagel, 2004]. Nous l'illustrons par le récit d'un accident mortel (voir Exemple 1.1).

Exemple 1.1 - Récit d'un accident mortel

« Sur l'autoroute, le conducteur, pour une raison inconnue, se déporte à gauche frôle le rail central et donne un coup de volant à droite et part en dérive. Il impacte le talus en choc frontal mais avec beaucoup d'angle et fait 2 tonnes. Le conducteur non ceinturé est éjecté par la vitre avant gauche et projeté contre le grillage bordant l'autoroute. Il impacte fortement un des poteaux du grillage. A l'arrivée des secours le conducteur est conscient et veut même retourner voir son véhicule (il ne saigne pas de la tête). Néanmoins, Il perd connaissance et les secours n'ont pas réussi à le réanimer ».

En 2004 [Peden et al., 2004], un rapport de l'OMS⁵ publie qu'environ 1,2 million de personnes meurent chaque année dans des accidents de la route dans le monde et que le nombre de blessés

⁵ OMS : Organisation Mondiale de la Santé ou WHO : World Health Organization

pourrait être de 20 à 50 millions. Les accidents de la route sont donc considérés comme un problème majeur de santé publique qui risque de s'étendre puisque l'OMS prévoit une augmentation de 65% des décès et des traumatismes entre 2000 et 2020 si aucune nouvelle action de prévention n'est entreprise. Cette augmentation sera encore plus présente dans les pays à revenu faible et modéré où l'augmentation pourrait atteindre 80% alors que déjà plus de 90% des décès interviennent dans ces pays (voir répartition dans Tableau 1.1).

Tableau 1.1 - Répartition de la population, des décès par accident de la route et des véhicules immatriculés en fonction du revenu des pays [OMS, 2009]

	Population	Décès à 30 jours	Véhicules immatriculés
Pays à revenu élevé	15.6%	8.5%	52.1%
Pays à revenu intermédiaire	47.8%	49.6%	38.7%
Pays à revenu faible	36.7%	41.9%	9.2%

Cette augmentation du nombre de tués et de blessés prévue par l'OMS s'explique par la dynamique du développement économique qui implique la mise en place de systèmes de transport qui soient denses et performants. Les pays à revenu intermédiaire et ceux à revenu faible suivent cette évolution et sont donc confrontés à un accroissement du nombre de véhicules et de la circulation routière. Cette croissance a des répercussions sur la société en termes d'accidents de la route (accidents mortels ou avec blessés) ou de maladies (par exemple : infection des voies respiratoires ainsi que les maladies liées au manque d'activités physiques).

Ces évolutions sont observées dans les pays émergents alors que dans les pays développés les répercussions néfastes tendent à diminuer. En effet, [Van Beeck et al., 2000] affirme que l'augmentation du niveau de vie des pays a tendance, dans un premier temps, à faire augmenter le nombre d'accidents mortels. Dans un second temps, cette tendance change lorsque les pays atteignent un certain niveau de développement qui leur permet de mettre en place une politique globale de sécurité routière. [Kopits and Cropper, 2005] montre que cette tendance est confirmée empiriquement par l'existence d'une limite de revenu par habitant à partir de laquelle il y a une baisse du risque d'accident mortel (limite estimée à environ 8600\$).

A ces disparités régionales s'ajoutent des disparités sur l'âge. En 2002, les accidents de la circulation représentaient la 11^{ième} cause de mortalité dans le monde alors que pour la catégorie des personnes âgées de 15 à 29 ans, les accidents de la route représentent la 1^{ière} cause de mortalité [OMS, 2009].

Au-delà de ces statistiques, les accidents de la route occasionnent des souffrances pour les victimes mais aussi pour les proches. Ils sont également à l'origine d'un appauvrissement des victimes qui est causé par les coûts de réparations, des soins, de la rééducation ou des funérailles mais aussi par la perte d'un revenu (75% des tués sont des hommes en âge de travailler). Ce sont les familles pauvres ou défavorisées qui sont le plus affectées par ces conséquences financières.

D'un point de vue purement économique, le coût total mondial des accidents de la route est estimé à 518 milliards de \$ de pertes et coûtent entre 1% et 3% du produit national brut de chaque pays [Jacobs et al., 2000].

En France [ONISR, 2010], le bilan de l'année 2010 fait état de 3 994 tués sur la route (4 273 tués en 2009). Depuis 2002, on observe en France une baisse significative du nombre des tués. En effet, entre 2002 et 2010 ce chiffre est passé de 7 742 tués à 3 994 tués.

1.1.2. La compréhension des accidents de la route

La prévention des accidents nécessite leur compréhension. Elle permet d'identifier les points sur lesquels les stratégies de sécurité doivent être focalisées. Il s'agit pour cela d'expliquer la raison de la survenue des accidents. Quels sont les éléments explicatifs qui permettent de dire pourquoi un accident de la route se produit ? Il s'agit également de comprendre les lésions. Quelles sont-elles ? Et quelle est leur répartition ?

D'une façon classique, l'atteinte de cet objectif repose sur l'utilisation de la modélisation cartésienne. Elle propose de décomposer le système routier en recherchant les composants élémentaires et compréhensibles. Nous avons cependant observé que cette approche ne convient pas toujours pour appréhender l'imprévisibilité et la mouvance⁶ qui le caractérisent. Nous utilisons dans la suite de ce mémoire le concept de complexité⁷ pour décrire ces caractéristiques.

Les limites de l'approche classique sont illustrés dans l'exemple bien connu de l'ABS – Anti Blocking System (voir Exemple 1.2). Il montre le besoin mais aussi la difficulté que nous avons à identifier de nouveaux comportements qui ont une influence sur l'évaluation des performances mais aussi sur l'action en sécurité routière. L'approche classique de modélisation est destinée à la description alors que nous cherchons une approche pour la compréhension et l'anticipation.

Exemple 1.2 - Adaptation des usagers - Exemple de l'ABS

L'ABS est un système d'assistance au freinage utilisé pour éviter le blocage des roues lors d'un freinage soutenu et ainsi éviter la perte de contrôle du véhicule tout en maximisant la distance de freinage. La performance a posteriori (en termes de santé publique) de ce système est moins importante que celle espérée. Plusieurs raisons expliquent ce résultat. [Burton et al., 2004] montre

⁶ L'imprévisibilité et la mouvance sont deux notions étroitement liées qui servent à caractériser les systèmes complexes. La mouvance exprime le fait que les systèmes évoluent au court du temps. L'imprévisibilité traduit le fait que les changements des systèmes se produisent de façon imprévisible. Ces changements concernent par exemple le fonctionnement ou encore les finalités des systèmes. Nous détaillons la complexité dans le chapitre 3.

⁷ La complexité est une des notions majeures de notre travail de recherche. La nécessité de sa prise en compte implique une réflexion globale en épistémologie et sur les pratiques de l'évaluation. Nous détaillons nos problématiques et nos approches la concernant dans les chapitres 3 et 4.

que le manque de performance du système s'explique en partie par sa mauvaise utilisation. A cause d'un manque de formation, les conducteurs conservent des habitudes de freinage incompatibles avec un bon fonctionnement de l'ABS. Deuxièmement, [Kahane, 2004] explique que les conducteurs ont une mauvaise compréhension des objectifs du système. Pour beaucoup, il s'agit d'un système permettant de réduire les distances de freinage, ce qui a pour conséquence une adaptation des comportements de conduite. En effet, selon Ashenbrenner cité dans [Elvik, 2004], certains des conducteurs possédant l'ABS ont une conduite plus agressive et conduisent plus vite. Cette adaptation se traduit par une prise de risque plus importante sur les phases de freinage, ce qui a pour conséquence une augmentation du nombre d'accident.

Même si ces phénomènes sont aujourd'hui bien documentés, ils ont une influence directe sur le calcul de la performance. Ce cas illustre que l'incapacité des évaluateurs à analyser, a priori ou a posteriori, certains phénomènes est préjudiciable à la qualité des évaluations. Les phénomènes imprévisibles sont difficilement analysables avec les modèles existants.

Les modèles déterministes et absolus pour la compréhension des accidents sont impossibles à construire. Nous ne sommes pas en mesure de dire qu'une configuration de causes (non port de la ceinture, vitesse excessive, consommation de drogue) mènera inévitablement à tel effet (type d'accident). Cette incapacité à fournir un modèle déterministe s'explique également par la grande diversité des accidents. De part la variété des attributs (nombre et valeur) caractérisant les accidents, ces derniers sont considérés comme uniques et donc difficilement généralisables.

Pour ces différentes raisons, il est préférable d'identifier les facteurs (alcool, vitesse excessive, mauvaises conditions climatiques, etc.) qui ont contribué à provoquer un accident. Ces facteurs, qui sont également nommés les facteurs de risque, augmentent la probabilité d'apparition d'un accident [Elvik, 2004] et [Hollnagel, 2004]. Cette définition rend alors possible leur identification par l'analyse des données sur les accidents. Les facteurs concernent l'environnement du véhicule et du conducteur (trafic, différentiel de vitesse, masque mobile, verglas, brouillard, etc.), les usagers de la route (âge, alcool, distance inter-véhicules inadaptée, vitesse excessive, inattention, médicaments, etc.), le véhicule (angle mort, défaillance, état des vitrages, usure des pneumatiques, etc.) et l'infrastructure (signalisation, marquage au sol absent, revêtement usé, accotements non praticables, chaussée étroite, etc.).

L'amélioration de la sécurité routière en France, surtout depuis 2002, est en partie due aux changements survenus sur certains de ces facteurs. On observe tout d'abord une baisse des vitesses pratiquées, la vitesse moyenne diminue et les dépassements de vitesse de 10 km/h ont été réduits de 50% en 5 ans. Ensuite, il y a une amélioration du port de la ceinture ; pratiquement 100% aux places avant mais encore uniquement 85% à l'arrière. La réduction du trafic de 1.4% peut aussi être un facteur explicatif de la baisse. Enfin, l'amélioration constante des véhicules en termes de niveau de sécurité (structure des véhicules, conception et diffusion des systèmes de sécurité, etc.) a un effet sur la réduction du nombre de tués.

1.1.3. Les stratégies pour l'amélioration de la sécurité routière

Les stratégies définissent tout ce qui est mis en œuvre dans l'objectif d'améliorer la sécurité routière. Elles sont mises en place par les acteurs de la sécurité et concernent différents éléments du système routier. Nous utilisons le terme de « stratégie » pour décrire à la fois les contremesures telles que les systèmes technologiques embarqués dans les véhicules ou bien les approches globales de management de la sécurité routière.

Notre travail concerne l'évaluation de ces stratégies. Nous présentons dans cette section leur diversité ainsi que leur complexité.

Nous illustrons dans un premier temps les stratégies de sécurité par la présentation des catégories fournies par [Elvik, 2004]. Il définit 8 grandes catégories : conception des routes et équipements, maintenance des routes, contrôle du trafic, conception des véhicules et élément de protection, véhicule et contrôle technique, formation des conducteurs et réglementation, éducation et formation, et enfin contrôle de police et répression.

Pour chacune de ces catégories l'auteur présente des exemples de stratégies. En tout, 110 stratégies sont présentées. En voici quelques exemples avec leur catégorie respective :

- Traitement des black-spots (conception des routes et maintenance),
- Amélioration de l'uniformité de la surface de la chaussée (maintenance des routes),
- Contrôle automatique des vitesses (contrôle du trafic),
- Airbag, ceintures de sécurité et systèmes de communication véhicule-infrastructure (conception des véhicules et éléments de protection),
- Inspection périodique des véhicules (véhicule et contrôle technique),
- Formalisation de recommandations médicales pour les conducteurs (formation des conducteurs et réglementation),
- Sensibilisation au sein des écoles (éducation et formation),
- Mise en place d'une législation pour lutter contre l'alcoolisme au volant (contrôle de police et répression).

Ces différents exemples et catégories illustrent bien le grand nombre et la diversité des stratégies de sécurité. Cette diversité s'explique par l'existence de différents domaines d'intervention (véhicule, usager et infrastructure) ce qui implique des solutions structurellement différentes (législation, technologie, communication, etc.). Des stratégies différentes mais de même nature peuvent être proposées afin de traiter un même problème. Ces deux observations impliquent la possibilité de proposer différentes stratégies par domaine et/ou pour un même problème de sécurité. **L'impact sur l'évaluation est que l'évaluateur doit pouvoir proposer des méthodes d'évaluation qui soient adaptées à cette diversité et à ce grand nombre.**

Afin d'illustrer les points clés du mémoire, nous utilisons un exemple « *fil rouge* ». Il s'agit de la stratégie de sécurité reposant sur l'utilisation des systèmes de communication C2X. Une

description préliminaire de cette stratégie ainsi qu'une justification de son intérêt par rapport à notre travail de recherche sont présentés ci-après (voir Exemple 1.3).

Exemple 1.3 - Description préliminaire des systèmes de communication C2X

Ces systèmes permettent la communication entre véhicules et entre les véhicules et l'infrastructure. Leur objectif est de fournir des services aux usagers. Ces derniers concernent trois domaines : la sécurité routière, le management du trafic routier et l'« infotainment » (mixte d'information et de divertissement). Il s'agit par exemple pour un véhicule en panne d'envoyer un message d'alerte aux usagers de la route qui le suivent dans l'objectif d'éviter une collision.

Des projets européens et nationaux ou des consortiums sont constitués afin de traiter les problématiques qui concernent ces systèmes (conception, validation, déploiement, etc.). Nous avons sélectionné cet exemple car les systèmes de communication C2X forment une stratégie de sécurité routière⁸ complexe pour laquelle de nombreuses recherches sont actuellement réalisées. C'est un sujet d'étude dans lequel il y a des questions d'évaluation liées au fonctionnement des systèmes technologiques aussi que des questions sur les aspects réglementaires, de confidentialité des données, de responsabilité, de marketing, de coût, etc.

Nous illustrons dans un second temps les approches globales de management de la sécurité en présentant le « *Safe System* » [Peden *et al.*, 2004] et [Newton, 2008]. C'est une stratégie promue par l'OMS qui propose un modèle d'intervention basé sur la prise en compte de la vulnérabilité des usagers et sur le fait que les humains font des erreurs d'appréciation et/ou dans leurs comportements. Le concept central est la sécurité et la mobilité n'en est qu'un aspect. Le « *Safe System* »⁹ a pour objectif de construire un système routier qui soit adapté à la vulnérabilité des humains et qui soit tolérant vis-à-vis de leurs erreurs. Un tel système considère trois domaines d'intervention potentiels (les usagers de la route, les véhicules et l'environnement routier). Il met également en avant la collaboration des différentes parties prenantes de la sécurité routière afin de favoriser le partage des connaissances entre les domaines et les pays. Cette stratégie est présentée dans la Figure 1.1.

⁸ Nous utilisons le terme générique de stratégie de sécurité routière pour décrire les systèmes de communication car to X. Pour autant, cela ne signifie pas que l'on se limite aux aspects sécuritaires.

⁹ D'autres approches sont basées sur le « *Safe System* ». Il s'agit par exemple de la « *Vision Zéro* » et de la « *Sustainable Safety* ». Ce sont deux approches qui sont focalisées sur la sécurité et non pas uniquement sur la mobilité.

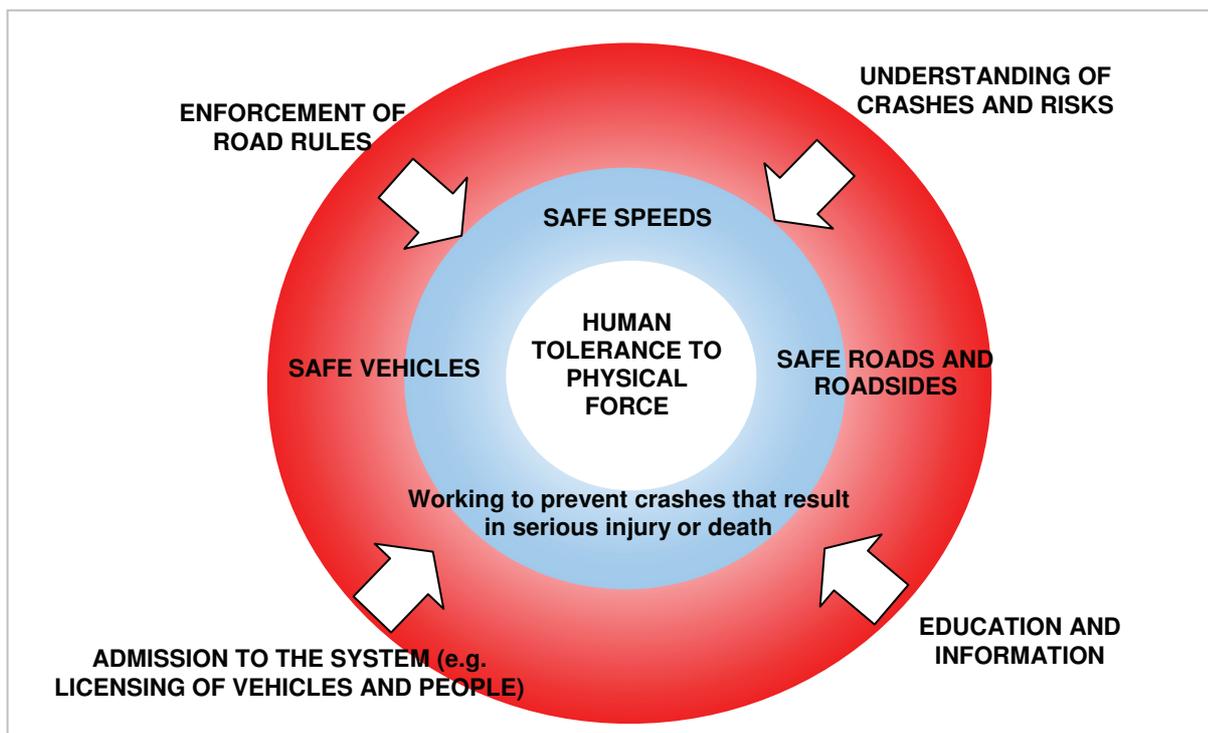


Figure 1.1 - Modèle du "Safe System", [Newton, 2008]

Notre travail de recherche, qui est destiné aux évaluateurs du LAB, se positionne par rapport à l'ensemble des domaines et des enjeux énoncés par le « *Safe System* ».

En effet, même si nous développons un modèle pour l'évaluation des stratégies de sécurité qui concernent directement les véhicules routiers (en lien avec le contexte industriel de la thèse). Notre modèle n'exclue pas les autres domaines d'intervention et de compétence dans la réalisation des évaluations. Nous cherchons à fournir un modèle général de l'évaluation qui soit adapté à la diversité des stratégies et dans lequel les différents domaines de compétences interviennent et collaborent.

1.1.4. Synthèse sur la situation en sécurité routière

La situation actuelle et les prédictions montrent que la sécurité routière est et restera un enjeu majeur d'un point de vue de la santé mais aussi de l'économie, de la politique, des technologies, etc. Les améliorations doivent être destinées à l'ensemble de la population mondiale et en particulier aux pays émergents pour lesquels la situation risque de s'aggraver. Même si les chiffres montrent une nette amélioration dans les pays développés, il reste cependant de nombreux efforts à fournir.

La commission européenne a par exemple fixé en 2001 des objectifs jusqu'en 2010 puis 2020 pour l'ensemble des pays européens (27 pays). La Figure 1.2 présente la situation actuelle ainsi que les objectifs à atteindre.

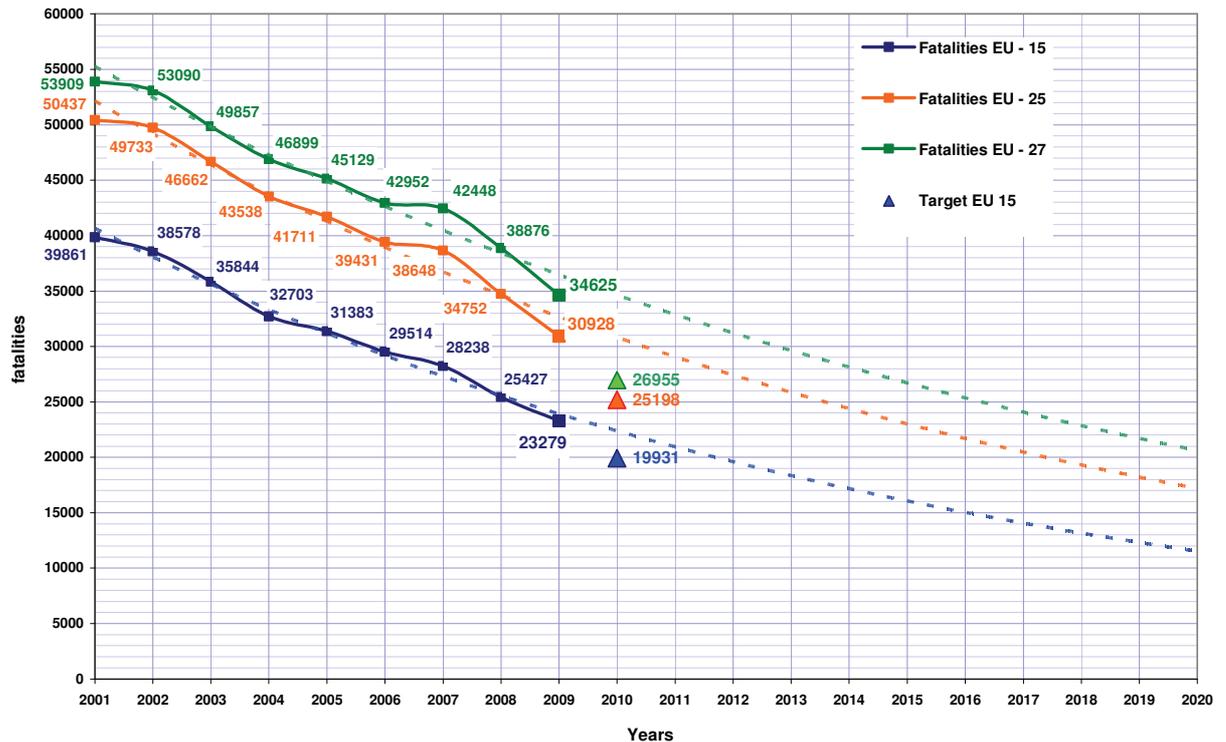


Figure 1.2 - Nombre de tués en Europe par rapport aux objectifs de la Commission Européenne (synthèse des chiffres fournis par les pays européens)

De plus certaines catégories de la population ou usagers sont surreprésentées chez les tués de la route (exemple des jeunes et des usagers vulnérables tels que les piétons et les deux-roues motorisés).

Afin de lutter contre l'insécurité routière, des stratégies de sécurité sont mises en œuvre. Elles concernent les différents éléments du système routier (véhicule, environnement et usager) et sont construites par des acteurs de différents domaines en fonction d'approche globale (exemple du « safe system »).

Ces éléments décrivent le contexte de notre travail de recherche sur l'activité d'évaluation en sécurité routière. La modélisation de l'activité d'évaluation doit être intégrée dans la démarche globale d'amélioration de la sécurité routière selon ces enjeux généraux. Nous devons également être en mesure de considérer la diversité des stratégies de sécurité ainsi que celle des domaines de compétences.

1.2. Le LAB

Le LAB est un laboratoire de recherche en **accidentologie** et en **biomécanique des chocs** commun à PSA-Peugeot/Citroën et Renault et qui a été créé en 1969. Il a pour mission (1) d'acquérir et de transmettre de la connaissance sur les mécanismes accidentels et lésionnels des accidents de la route et (2) de spécifier et d'évaluer l'efficacité des contremesures en s'appuyant sur la réalité des accidents.

L'**accidentologie** est une science jeune qui est définie comme l'étude scientifique des accidents de la route. Elle a pour objectif la compréhension des mécanismes accidentels et des conséquences corporelles sur les usagers. Elle est par conséquent pluridisciplinaire et nécessite entre autres des compétences en épidémiologie, en statistique, en dynamique du véhicule, en médecine (pour la compréhension des bilans lésionnels), en ingénierie et en psychologie.

La **Biomécanique des chocs** a pour objectifs la compréhension du comportement du corps humain en choc. Le travail de compréhension en situation de choc permet d'identifier les liens entre la survenue des lésions du corps humain et les efforts et/ou décélérations subis par ce dernier. Cela permet de caractériser des seuils en dessous desquelles les blessures peuvent être évitées. Cependant il existe une grande variabilité interindividuelle et ces seuils varient en fonction des caractéristiques humaines, par exemple en fonction de l'âge.

Le LAB participe à de nombreux projets de recherche dans ces deux domaines d'expertise à la demande des constructeurs automobiles français ou dans le but d'améliorer ses connaissances et son savoir-faire. Il est ainsi impliqué dans des projets collaboratifs français (CACIAUP, WIPLASH, SCOREF)¹⁰, européens (COVER, THORAX, CASPER et DaCoTa)¹¹ ou mondiaux GHBMC¹². L'expertise du LAB s'exerce par ailleurs, à la demande de PSA et de Renault, dans les groupes internationaux de réflexion tels que l'ACEA, EUCAR, CEVE ou l'ISO¹³.

Le LAB, en collaboration avec le LGI¹⁴ de l'Ecole Centrale Paris, a initié un projet de recherche qui porte sur l'activité d'évaluation en sécurité routière et que nous présentons dans ce mémoire. L'objectif est de cadrer l'activité d'évaluation afin de fournir les connaissances nécessaires pour guider les évaluateurs de façon à ce qu'ils réalisent des évaluations adaptées et efficaces¹⁵. Nous définissons par la suite les enjeux et les problématiques de cette réflexion.

¹⁰ **CACIAUP** : amélioration des Connaissances sur les Accidents Impliquant un Automobiliste et un Piéton, **WIPLASH** : étude des lésions cervicales et **SCOREF** : Système Coopératif Routier Expérimental en France, un système de communications pour des routes et des infrastructures intelligentes.

¹¹ **COVER** : Coordination of Vehicle and Road Safety Initiatives, **THORAX** : Thoracic injury assessment for improved vehicle safety *THORAX, (2009), Thoracic injury assessment for improved vehicle safety, , CASPER : Child Advanced Safety Project for European Roads, **DaCoTa** : Data Collection Transfer & Analysis (<http://www.dacota-project.eu>).*

¹² **GHBMC** : consortium de modélisation de l'être humain.

¹³ **ACEA** : Association des Constructeurs Européens d'Automobiles, **EUCAR** : , **CEVE** : Comité Européen du Véhicule Expérimental (ou **EEVC** : European Experimental Vehicle Committee), **ISO** : International Organization for Standardization.

¹⁴ **LGI** : Laboratoire de Génie Industriel de l'Ecole Centrale Paris

¹⁵ Une bonne évaluation est celle qui fournit des résultats qui répondent aux attentes exprimées dans la question d'évaluation.

1.3. Usage de l'évaluation en sécurité routière

L'activité d'évaluation en sécurité routière sert à mesurer les performances des actions réalisées ou futures. Ces résultats sont utilisés par les parties prenantes afin de les aider à réaliser leurs activités. La variété des parties prenantes implique une diversité des attentes. Chacune d'entre elle a des attentes spécifiques qui sont liées à la nature de son activité.

[Derrick and Mak, 2007] propose un modèle global dans lequel l'activité d'évaluation est intégrée. Il définit le « **Policy Cycle** » dont l'objectif est la surveillance des stratégies de sécurité routière grâce à l'utilisation d'un processus bouclé (voir Figure 1.3). L'évaluation, qui fait partie intégrante de ce processus, a pour objectif de fournir des données factuelles qui seront utilisées par les parties prenantes afin de prendre des décisions pour la gestion des stratégies. Ce processus spécifie les bases de l'utilisation de l'évaluation dans le domaine de la sécurité routière. Elle permet l'exécution de stratégies de sécurité performantes grâce à un retour sur l'impact des actions réalisées.

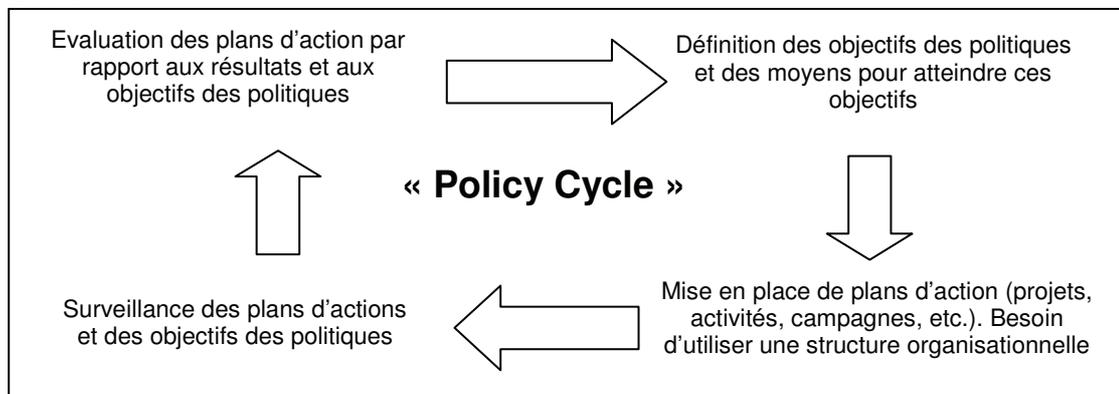


Figure 1.3 : le « **Policy Cycle** » pour la surveillance des stratégies de sécurité [Derrick, 2007]

L'évaluation des stratégies consiste à mesurer leurs performances. Ces dernières ont plusieurs natures : efficacité, efficience, effectivité et cohérence¹⁶. Actuellement, les évaluations consistent en grande partie à utiliser des indicateurs permettant de mesurer l'efficacité des stratégies en termes de vies sauvées. Néanmoins d'autres mesures existent, les évaluateurs mesurent par exemple les coûts engendrés par l'insécurité routière afin de déterminer les performances économiques. Une stratégie a un coût et ses effets peuvent être monétarisés (le coût d'un tué est par exemple estimé à 1.2 millions d'euros). Il est alors possible de construire un indicateur d'efficience : rapport entre les moyens engagés et les résultats obtenus.

Nous insistons sur le fait que l'activité d'évaluation permet la construction de connaissances utiles pour le management des stratégies de sécurité routière. Ces connaissances renseignent sur les performances des stratégies mais aussi sur la sécurité routière en général (compréhension du système routier, identification de pistes de réflexions, etc.).

Notre travail de cadrage de l'évaluation doit prendre en compte la diversité des attentes des parties prenantes ainsi que la diversité des stratégies à évaluer.

¹⁶ Ces quatre notions sont détaillées dans le chapitre 3

Chapitre 2. Problématique et contenu du travail de recherche

2.1. Problématique générale du travail de recherche

Afin d'expliquer les motivations de notre travail de recherche, nous détaillons la question générale sur laquelle repose notre travail de recherche. Celle-ci est :

Est ce que l'évaluation telle qu'elle est pratiquée aujourd'hui en sécurité routière répond aux attentes ?

Dans cette question, nous considérons toutes les attentes en lien avec la réalisation des évaluations. Il s'agit de celles qui concernent les indicateurs, les pratiques, les positionnements et l'anticipation. A ces quatre points, nous associons des problèmes et des enjeux¹⁷ (voir Figure 2.1). Ils servent à décomposer la question principale. Ils sont présentés ci-après :

- **Est-ce que les approches et les pratiques de l'évaluation en sécurité routière sont satisfaisantes ?** Cette question a pour objectif d'appréhender les problèmes qui concernent les aspects fonctionnels et structurels de l'évaluation. Il s'agit de poser des questions sur la définition de l'évaluation en tant qu'activité afin de déterminer si ce qui y est fait est valide par rapport à des attentes.
- **Est-ce que les indicateurs actuellement utilisés sont pertinents et correctement employés ?** L'indicateur est un concept important de notre travail car il est le principal media de transmission des résultats d'évaluation aux parties prenantes. C'est pourquoi nous identifions certains des enjeux qui s'y rapportent.
- **Comment est prise en compte la dimension évolutive de l'évaluation ?** C'est une activité qui n'est pas figée dans le temps. C'est-à-dire que sa définition, sa pratique et ses finalités évoluent au cours du temps. Nous identifions des enjeux et des questions par rapport à cette nécessité de considérer la transformation.
- **Quel est le positionnement de l'évaluateur vis-à-vis de l'évaluation ?** Ce thème aborde les réflexions sur les différents choix de positionnement que les évaluateurs peuvent être amenés à faire et qui vont les guider dans la réalisation de leur activité.

¹⁷ Ces questions et enjeux sont détaillés dans la partie 2.

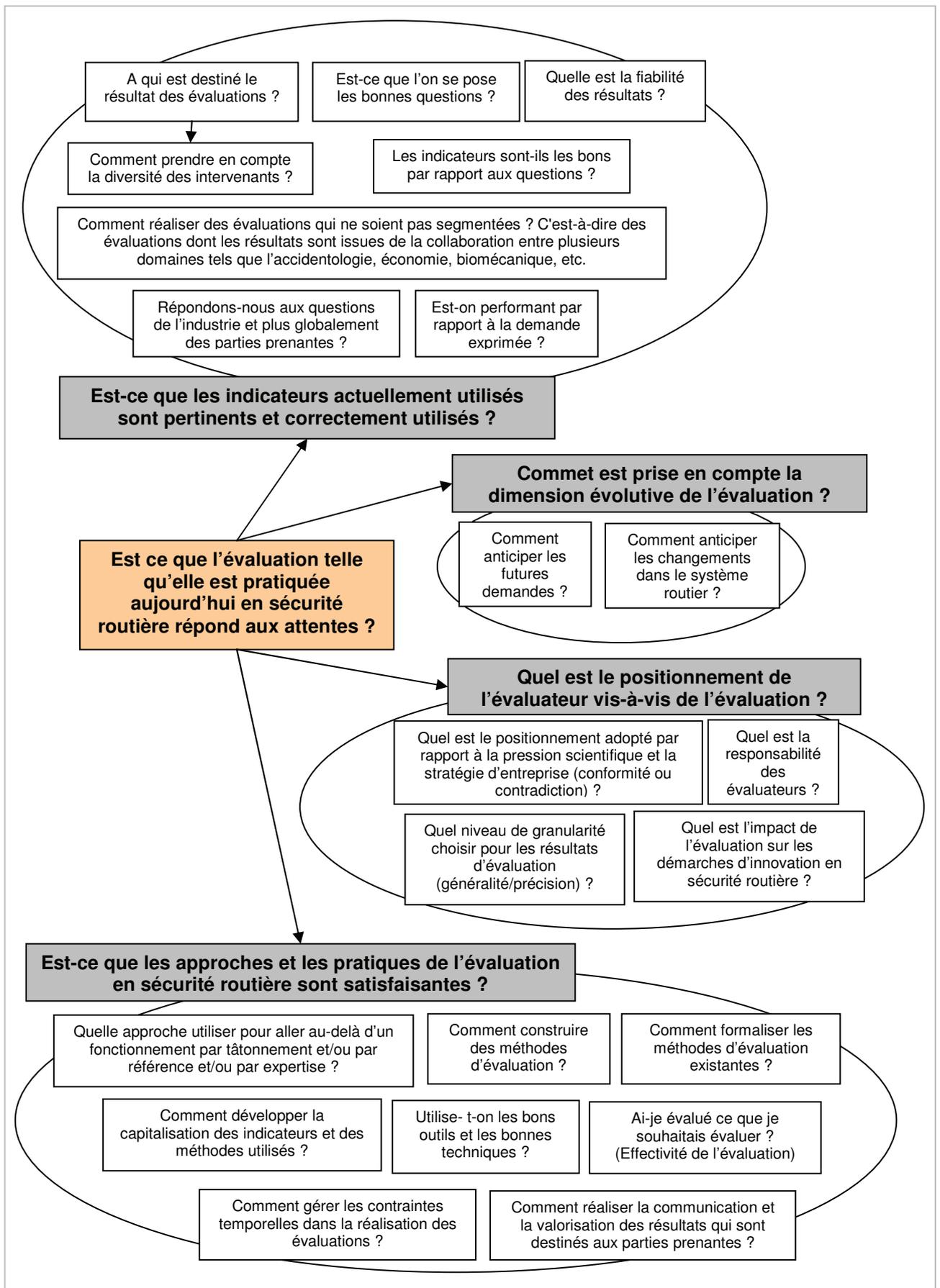


Figure 2.1 - Liste des problématiques de l'activité d'évaluation

La compréhension de ces différents enjeux sur l'activité d'évaluation nécessite des connaissances dans trois disciplines. Elles ont été sélectionnées par rapport à leur pertinence

Nous n'avons pas trouvé d'approche ou de méthode qui puissent répondre à l'ensemble de ces questions et qui soient suffisamment formalisées. Les pratiques actuelles ne sont pas suffisantes par rapport aux enjeux qui concernent l'évaluation en sécurité routière.

2.2. Contenu du travail de recherche

Nous proposons un modèle de l'évaluation à destination des évaluateurs. Celui-ci est défini comme un guide qui aide à concevoir et à réaliser les évaluations. Nous avons choisi une approche dans laquelle l'évaluateur est à la fois le concepteur et l'opérateur de l'évaluation. Ce choix est justifié par la nécessité d'évaluer des stratégies de sécurité qui sont diverses et dont l'environnement est en perpétuelle évolution. Il n'est donc pas possible d'avoir un modèle déterministe de l'évaluation. La conception est nécessaire pour faire face aux nouveautés (changements des stratégies de sécurité, de l'environnement, des attentes des acteurs de la sécurité routière, etc.).

Notre modèle est focalisé sur les deux premières phases de l'activité d'évaluation : la phase d'analyse du cas d'étude et la phase de conception des indicateurs. Elles sont toutes deux décrites par (1) des modèles structurels et (2) des modèles fonctionnels. Ces modèles sont utilisés par les évaluateurs pour identifier les problèmes d'évaluation et pour concevoir des indicateurs qui soient pertinents par rapport à ces problèmes.

Les trois autres phases, que nous n'avons pas traitées en détail, concernent le recueil des données, leur traitement et la valorisation des résultats. Nous avons cependant travaillé à formaliser le lien permettant de relier notre travail à ces trois étapes opérationnelles de l'évaluation¹⁸.

Nous insistons sur la nécessité pour les évaluateurs d'acquérir une vision spécifique de l'évaluation (vision innovatrice afin de faire face aux nouveautés). Cela implique une modification ou une adaptation de la pensée évaluatrice actuelle qui est utilisée en sécurité routière. Ce changement est primordial pour garantir une atteinte des objectifs que nous avons exprimés.

Enfin, l'ensemble des modèles que nous proposons sont formalisés de façon à définir un cahier des charges utilisable pour la conception d'une solution logicielle. Elle servira à rendre pleinement opérationnel notre modèle.

¹⁸ Nous travaillons sur ce sujet dans le cadre du projet européen DaCoTa – Data Collection Transfer & Analysis (<http://www.dacota-project.eu>).

Synthèse de la Partie 1

Afin d'améliorer la sécurité routière à l'échelle nationale, européenne et mondiale, de nombreuses stratégies doivent encore être mises en place. Elles concernent l'ensemble des enjeux de la sécurité routière (santé, social, technique, économique, politique, etc.) et les trois éléments du système routier (véhicules, usagers, et l'infrastructure).

L'activité d'évaluation fournit des connaissances sur les stratégies afin de mesurer leurs performances. Ces connaissances sont destinées aux parties prenantes et ont pour objectif de les aider à la réalisation de leurs activités (conception, décision, validation, optimisation, etc.).

Une des missions du LAB est la réalisation d'évaluation des stratégies de sécurité pour différentes parties prenantes. C'est dans le cadre de cette activité que ce laboratoire a initié un travail de recherche. Son objectif est de fournir un cadre conceptuel de l'évaluation. Celui-ci servira à décrire l'évaluation telle qu'elle est aujourd'hui et telle qu'elle devra être dans le futur. Il faut la penser de façon à ce qu'elle anticipe les mutations du système routier et les besoins de sécurité routière.

Notre réflexion sur l'évaluation est justifiée par le fait que nous n'avons pas identifié de méthodes ou d'approches suffisantes pour répondre aux attentes que nous avons identifiées. Ces attentes sont décomposées suivant quatre axes : les indicateurs d'évaluation (réflexion sur leur pertinence et leur conception), les approches et les pratiques, les capacités d'évolution de l'évaluation et enfin les positionnements de l'évaluation.

La solution que nous proposons est basée sur une approche innovatrice de l'évaluation. Elle est décrite comme une activité réalisée par l'évaluateur. Ce dernier doit **concevoir** et **exécuter** les évaluations. Afin de l'aider, nous proposons des modèles structurels et fonctionnels pour le guider dans ses tâches.

Partie II - Problèmes de l'évaluation en sécurité routière

Cette deuxième partie est focalisée sur l'analyse de l'activité d'évaluation. Nous commençons, dans le premier chapitre, par la description des pratiques et des enjeux de l'évaluation en sécurité routière. Nous proposons également dans celui-ci des connaissances générales sur l'activité d'évaluation. Elles sont issues de domaines divers, tels que l'éducation, l'ingénierie ou l'économie, et forment les bases théoriques sur lesquelles s'appuie notre proposition.

Dans le deuxième chapitre, nous présentons nos enjeux et nos positionnements par rapport à l'épistémologie, l'ingénierie des connaissances et l'activité de conception. Ce sont les domaines qui sont pertinents pour la construction d'un modèle de l'évaluation appliqué à la sécurité routière.

L'évaluation permet de maîtriser la réalisation d'activités en proposant un feed-back a priori ou a posteriori de l'impact des actions. Ce moyen de régulation ou de contrôle est décliné en un objectif de construction de connaissances : les indicateurs et toutes les informations issues de la réalisation des évaluations.

La réalisation d'évaluation est une activité créative qui nécessite des comportements et des compétences particulières de la part des évaluateurs. Ce positionnement est différent des approches technocentriques pour lesquelles l'évaluateur est considéré uniquement comme un technicien qui applique des processus formalisés. Son rôle se limite à des considérations opérationnelles. Dans la vision créative, l'évaluateur a pour rôle, en plus de celui de la réalisation, la conception de méthodes et d'indicateurs d'évaluation qui s'adaptent aux besoins et au contexte. Cette vision de l'évaluation impose la prise en compte des capacités cognitives des évaluateurs à concevoir les méthodes et les indicateurs.

Chapitre 3. L'activité d'évaluation

Les trois premières sections de ce chapitre concernent l'activité d'évaluation en sécurité routière. Nous commençons par la description des pratiques et les enjeux de l'évaluation par rapport au management de la sécurité routière. L'objectif est de fournir un panorama des pratiques existantes mais aussi de détailler les enjeux liés à la conception et l'utilisation des méthodes d'évaluation. Nous continuons l'étude de l'évaluation en présentant ses acteurs, ses finalités et sa dynamique (l'évaluation est une activité dynamique qui évolue en fonction des changements de son contexte - le système routier et les parties prenantes). Nous poursuivons par l'étude des indicateurs.

Nous proposons dans un second temps une section sur la compréhension générale de l'activité d'évaluation. Elle est basée sur les connaissances de divers domaines pour lesquels des travaux de recherche ont été effectués. Nous utilisons par exemple les domaines tels que l'éducation, la santé et l'ingénierie. Cette partie sert à définir les bases théoriques de l'évaluation utiles à sa modélisation.

A travers ces quatre sections, nous dressons un panorama des méthodes et des enjeux existants liés à l'activité d'évaluation. La prise en compte de différents domaines permet de montrer la diversité des approches tout en gardant à l'esprit notre domaine d'application : la sécurité routière. L'objectif est de formaliser des connaissances pertinentes dans le but de construire un modèle général de l'évaluation à destination des évaluateurs pour les aider à répondre au mieux aux attentes/questions d'évaluation.

Nous synthétisons les apports et les réflexions de ce chapitre pour la spécification de notre travail de recherche dans les Figure 3.1 et Figure 3.2.

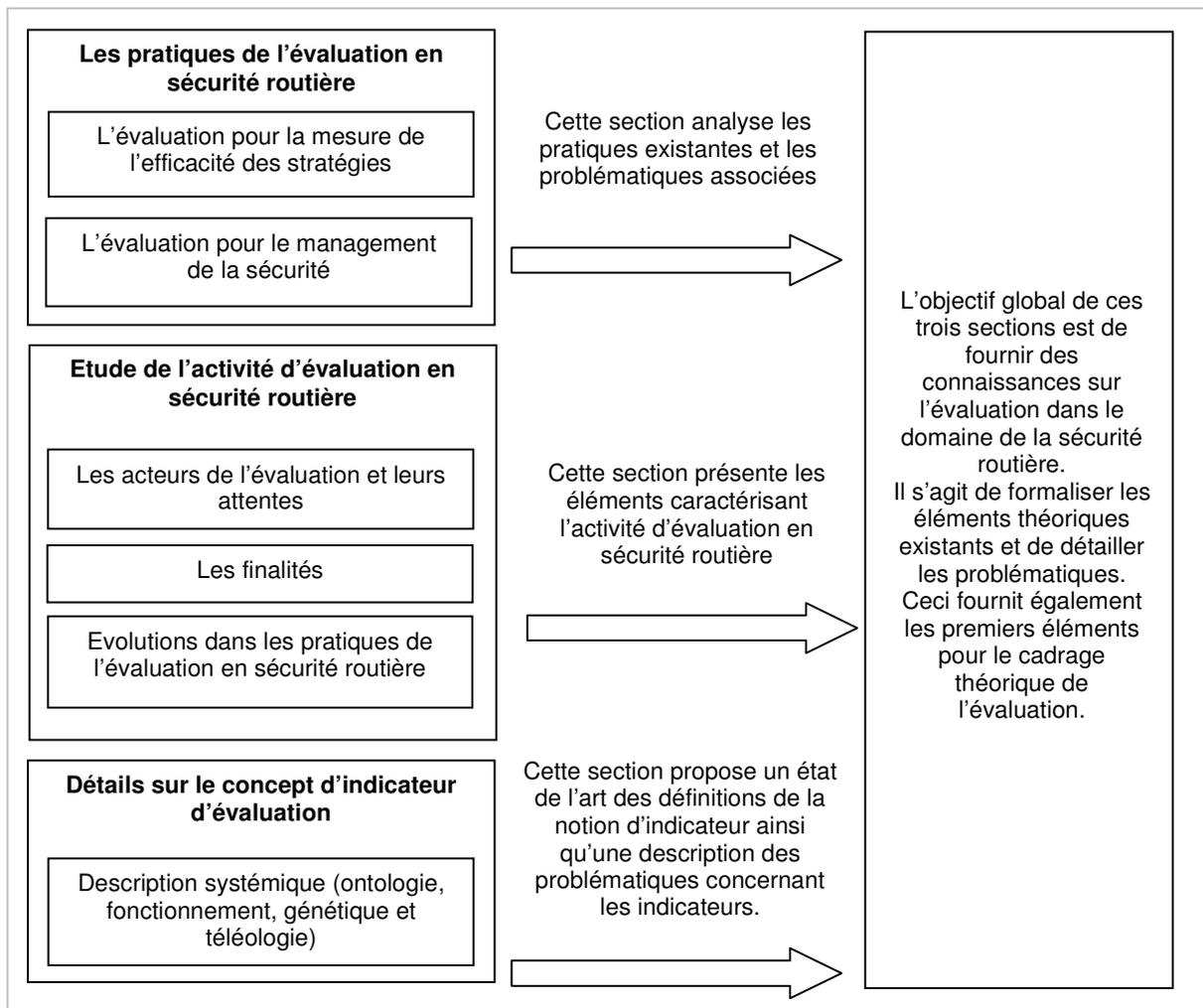


Figure 3.1 – Apports de l'étude de l'évaluation en sécurité routière

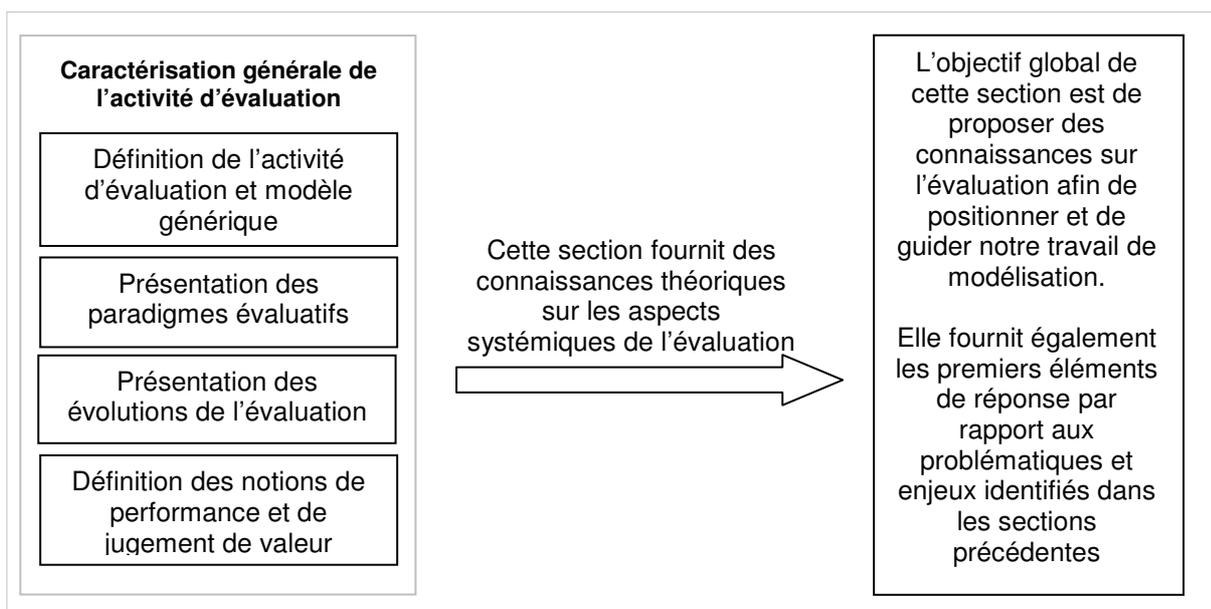


Figure 3.2 – Apports de la caractérisation générale de l'évaluation

3.1. Les pratiques de l'évaluation en sécurité routière

Les évaluateurs agissent en fonction de leurs connaissances, des théories sur l'évaluation, de leurs positionnements par rapport à la sécurité routière et de leurs interactions avec le système routier et les parties prenantes (celui qui a posé la question et les autres acteurs).

Dans cette section les deux principales visions de l'évaluation qui sont utilisées par les évaluateurs¹⁹ sont présentées. La première est basée sur la performance en tant que mesure de l'efficacité des stratégies à sauver des vies ou à éviter des blessés. La seconde a pour objectif de définir ce qu'est la performance pour que l'évaluation ait un rôle dans le management global de la sécurité routière. Ces présentations ont pour objectif d'identifier les limites des pratiques actuelles et les objectifs à atteindre.

3.1.1. L'évaluation pour la mesure de l'efficacité

Elle est la vision de l'évaluation la plus développée ; elle cherche à savoir si une stratégie sauve des vies et/ou réduit les blessures causées par les accidents de la route. La définition de la performance est donc basée sur l'efficacité en termes de vies sauvées ou de blessures évitées. Seul l'enjeu de santé publique est considéré. Les enjeux économiques, environnementaux, techniques et sociétaux ne sont pas abordés. De plus, les autres dimensions de la performance ne sont pas traitées (effectivité, efficacité et cohérence). Nous synthétisons cette définition dans la Figure 3.3 et nous l'illustrons dans l'Exemple 3.1.

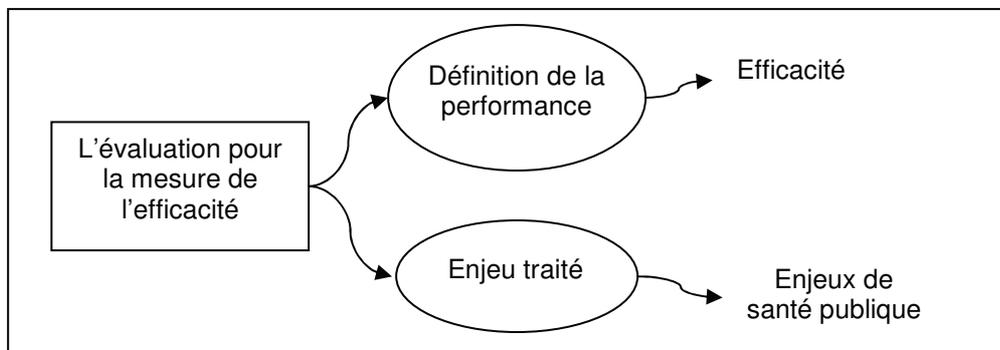


Figure 3.3 - Description de l'évaluation pour la mesure de l'efficacité

En accidentologie, l'efficacité est définie par [Evans, 2004] comme le pourcentage de réduction du niveau de gravité des blessures, y compris la mort, causée par l'introduction totale d'une stratégie de sécurité. Cette définition repose le plus souvent sur deux hypothèses : la stratégie est introduite à 100% et il n'y a pas d'évolution des autres facteurs. Pour [Elvik, 2003], une action de sécurité est efficace si elle est en mesure de réduire le nombre de blessés et/ou de tués, ou si elle affecte favorablement les facteurs de risque. Cette définition conduit par exemple à évaluer l'efficacité

¹⁹ Des connaissances complémentaires sur les pratiques de l'évaluation sont également présentées en annexes. Ce sont des connaissances sur les évaluations a priori et a posteriori ainsi que sur les données utilisées pour la mesure des indicateurs.

du contrôle technique [Fosser, 1992] ou la mise en place d'un seuil de limitation de vitesse [Page, 1994] par la mesure du nombre de tués ou d'accidents.

Dans le cas où les données nécessaires au calcul de ces indicateurs d'efficacité ne sont pas disponibles, d'autres approches sont utilisées. L'évaluateur utilise par exemple des indicateurs intermédiaires qui sont calculables et compréhensibles. Il s'agit par exemple des vitesses pratiquées sur le réseau routier [Holland and Conner, 1996] et [Retting *et al.*, 2008], de la consommation d'alcool [Fell and Voas, 2006], ou encore des taux d'utilisation des systèmes de sécurité [Lie *et al.*, 2008].

Le manque de données d'exposition (nombre de km parcourus par exemple) implique le calcul du risque relatif. Face aux limitations des données sur les accidentés, il n'est pas possible de calculer un risque d'accident. Par contre, il est possible, grâce au théorème de Bayes, de calculer un risque relatif d'accident d'une population par rapport à une autre, on utilise pour cela la formule de l'odds-ratio [Page, 1998]. On obtient alors un résultat du type : « *Le risque d'être impliqué dans un accident où la présence de l'ESC est pertinente pour les véhicules équipés est 44% plus faible que le même risque pour les véhicules non équipés* » [Page and Cuny, 2006].

Exemple 3.1 - Evaluation de l'efficacité d'un service utilisant le système de communication C2X

Nous proposons dans cet exemple d'évaluer un service de sécurité qui a pour objectif de prévenir les conducteurs de la localisation des zones dangereuses. Par exemple, le système avertit le conducteur d'un virage dangereux en fonction de la vitesse du véhicule.

L'évaluation a priori (le service n'est pas encore en fonctionnement) de l'efficacité de ce service en termes de santé publique consiste par exemple à calculer son potentiel effet sur la réduction du nombre de tués. On cherche dans un premier temps à calculer la réduction du nombre d'accidents suite à l'implantation du service. On utilise alors des données accidentologiques sur le type d'accident ciblé et sur la qualité de fonctionnement du service (tous les accidents ne sont pas obligatoirement évitables). Dans un second temps, on estime le nombre de tués grâce au lien entre la réduction du nombre de tués et les courbes de risque²⁰.

Le résultat obtenu est cependant d'un usage limité (son but n'est évidemment pas d'être exhaustif sur l'évaluation de la performance globale). Par exemple, les prises de décision concernant ce service ne peuvent être uniquement basées sur cet indicateur d'efficacité. Il y a d'autres éléments à prendre en compte en ce qui concerne son prix, les possibilités de faire autrement, son optimisation de fonctionnement, etc.

Cette caractérisation partielle de la performance des stratégies de sécurité n'est pas suffisante par rapport aux différents besoins que nous avons identifiés. Nous ne pouvons nous limiter à un seul domaine et à une seule dimension. Dans la section suivante, nous la complétons en utilisant les différents enjeux et définitions de la performance.

²⁰ Renseigne par exemple sur la probabilité d'être tué en fonction de la violence du choc.

3.1.2. L'évaluation pour le management de la sécurité routière

L'une des volontés actuelles est de faire évoluer la finalité de l'évaluation. Il s'agit de passer d'une mesure de l'efficacité en termes de vies à une performance globale destinée au management de la sécurité routière. Cette évolution conduit à repenser la définition de la performance. Elle doit intégrer tous les enjeux liés à la **multidisciplinarité** et être basée sur toutes **les dimensions de la performance** (efficacité, efficience, cohérence et effectivité).

La **multidisciplinarité** est issue du besoin de traiter tous les enjeux de sécurité routière (santé publique, technologiques, politiques, sociétaux, économiques et environnementaux). Chacun de ces enjeux nécessite des compétences et des connaissances bien spécifiques (utilisation de différentes disciplines).

Les performances faisant appel à d'autres domaines que la santé publique sont déjà existantes mais ne sont pas suffisamment déployées et/ou intégrées dans une réflexion globale sur l'évaluation. Par exemple, des indicateurs économiques ont été développés afin d'évaluer les stratégies de sécurité (nous présentons dans les documents complémentaires une synthèse de quelques indicateurs existants). La monétarisation des accidents fait partie de ces méthodes de calcul. Les tués et les blessés ont chacun une valeur financière. Il est ainsi possible de mettre sur un même plan les investissements financiers d'une stratégie de sécurité et les coûts de l'insécurité routière. La monétarisation est également un autre moyen pour démontrer l'importance des problèmes de sécurité routière (sensibilisation et communication). Ces indicateurs servent par exemple à présenter l'impact du coût des accidents sur le PIB des pays.

Les **4 dimensions de la performance** sont : efficacité, efficience, effectivité et cohérence. Elles sont détaillées dans la section 3.4.4. Elles sont directement utilisées pour la construction des indicateurs d'évaluation. Par exemple, la définition de l'efficience sert à la construction d'indicateurs destinés à l'évaluation des stratégies des pouvoirs publics. L'évaluateur cherche à savoir laquelle des stratégies est la plus efficace pour un budget donné.

Nous synthétisons cette deuxième vision de l'évaluation pratiquée en sécurité routière dans la Figure 3.4 et nous l'illustrons par l'Exemple 3.2.

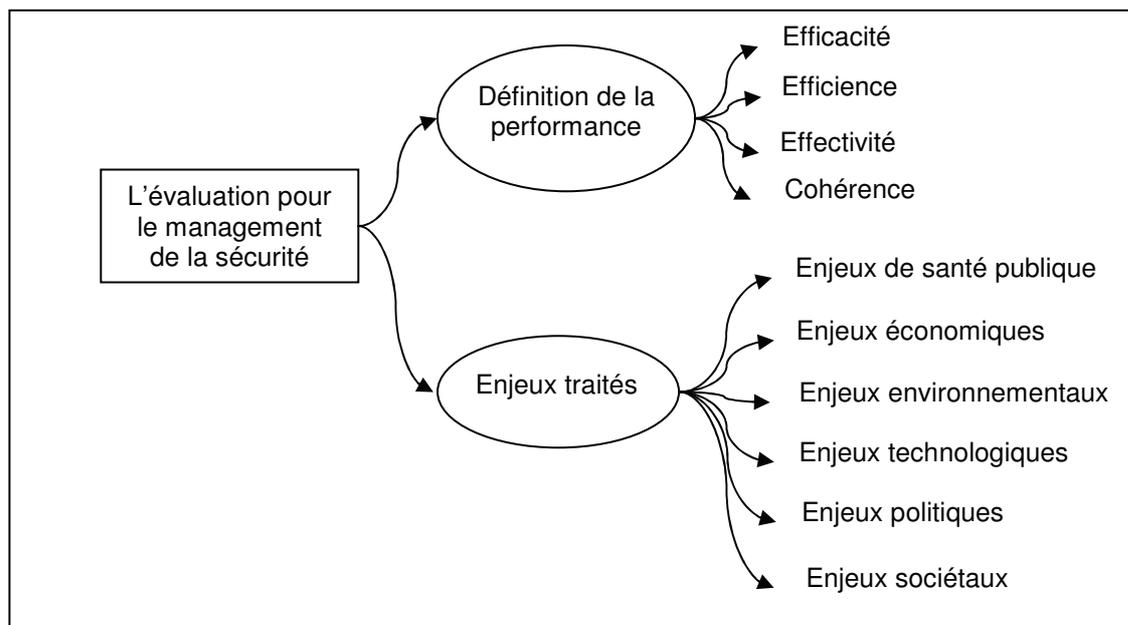


Figure 3.4 - Description de l'évaluation pour le management de la sécurité routière

Exemple 3.2 - Enjeux sur l'évaluation globale d'un service utilisant le système de communication C2X

Nous reprenons ici l'exemple proposé dans la section précédente. Nous cherchons à évaluer un service d'avertissement de zones dangereuses.

La vision de l'évaluation définie dans la Figure 3.4 est utilisée pour identifier les différentes questions que l'on pourrait se poser pour évaluer ce service. Nous proposons la liste suivante de quelques enjeux : industriels (rentabilité, responsabilité sociétale), environnementale (quel est l'efficacité sur la réduction des émissions de CO2 ?), efficacité (moyens mis en œuvre en fonction du résultat estimé), et effectivité (est ce que ce qui est prévu va être effectivement être réalisé ?).

La prise en compte de ces questions conduit à une réflexion plus générale sur la performance du système évalué. L'objectif n'est pas de tout traiter, nous cherchons à montrer qu'il existe d'autres enjeux que celui de santé publique et qui sont potentiellement pertinents. Pour être complet, ce travail est à mettre en correspondance avec les besoins des parties prenantes de l'évaluation. Ce sont elles qui spécifieront le besoin en mesure de performance.

Cette vision, qui correspond aux attentes sur la définition générale de l'évaluation, comporte des interrogations. Les différents enjeux et les quatre dimensions de la performance impliquent une grande diversité des résultats d'évaluation et donc un besoin d'organisation de la collaboration entre les disciplines. Ces tâches d'analyse et de réalisation nécessitent des compétences spécifiques de la part des évaluateurs ainsi que des connaissances sur le contexte d'évaluation. Quelles sont-elles ? Et comment les évaluateurs vont-ils les utiliser ?

Le LAB ne peut considérer toutes les dimensions présentées dans cette section. Ses domaines de compétences sont limités à certaines de ces dimensions (accidentologie et biomécanique principalement). Par contre, l'intérêt pour le LAB de cette vision globale est de pouvoir positionner et adapter ses activités par rapport à une compréhension globale de l'évaluation.

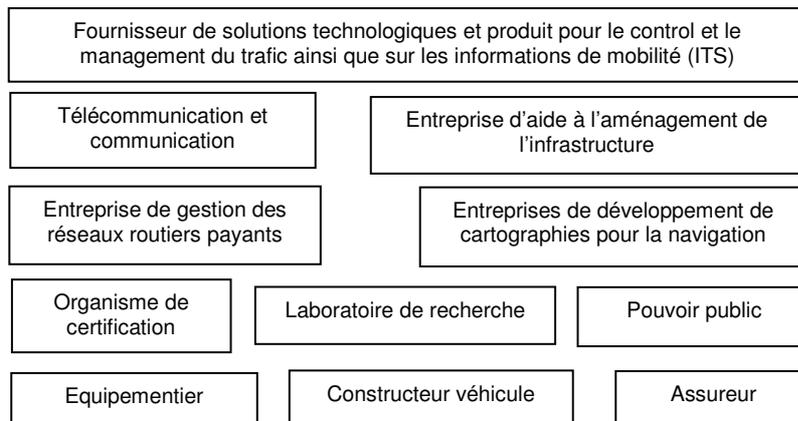
3.2. Caractérisation de l'activité d'évaluation en sécurité routière

3.2.1. Les acteurs de l'évaluation et leurs attentes

Les acteurs de l'évaluation sont les personnes ou groupes de personnes impactant la spécification et/ou la construction et/ou la réalisation de l'évaluation. Nous considérons les catégories suivantes :

- Les **parties prenantes** de l'évaluation (voir l'Exemple 3.3) : ce sont les personnes ou groupes de personnes qui sont liés à l'évaluation des stratégies de sécurité. Nous considérons les sous catégories suivantes :
 - Les commanditaires : c'est eux qui énoncent une attente d'évaluation.
 - Les parties prenantes qui ont des attentes par rapport à l'évaluation mais qui ne les expriment pas. Il s'agit par exemple des usagers de la route qui ont des besoins mais qui ne s'expriment pas directement auprès des évaluateurs. Dans ce cas, soit l'évaluateur tente d'identifier ces attentes (enquête, observation des comportements, dialogue avec les associations d'usagers, etc.) ou alors il les construit.
 - Les parties prenantes qui participent à la réalisation des évaluations. Il s'agit par exemple des experts qui fournissent des avis ou des recommandations pour la réalisation des évaluations.
- Les **évaluateurs** : personnes ou groupe de personnes qui ont un rôle actif dans la construction et/ou la réalisation de l'évaluation. Notre travail de recherche sur le cadrage conceptuel de l'évaluation leur est destiné.

Exemple 3.3 - Liste non exhaustive des parties prenantes liées aux recherches sur les systèmes de communication « Car to X »²¹



Nous nous focalisons sur certaines de ces parties prenantes en présentant les objectifs de leurs activités qui sont à l'origine des attentes d'évaluation. Nous considérons **les constructeurs automobiles et les pouvoirs publics**.

Les objectifs des **constructeurs automobiles** par rapport à la sécurité routière sont multiples, nous nous focalisons sur deux d'entre eux : un objectif économique et un objectif de responsabilité sociétal.

D'un point de vue économique, la vente de voitures est l'objectif premier des constructeurs automobiles. Le niveau de sécurité des véhicules proposés à la clientèle est un des leviers permettant d'atteindre cet objectif. Certains considèrent en effet que le niveau de sécurité perçu est un argument pris en compte par les consommateurs pour l'achat d'un véhicule [Koppel *et al.*, 2008]. Le besoin des constructeurs est donc d'identifier les prestations de sécurité qui seront les plus rentables.

La décision de sélection d'une prestation n'est pas uniquement basée sur cette définition de la performance. Ils sont également attentifs à l'impact de leur activité car la nature même des véhicules implique des risques de décès et de blessures. Les véhicules conçus doivent être les moins dangereux possible pour les usagers au vue des connaissances actuelles. De plus, les véhicules construits doivent être conformes à la réglementation en vigueur.

Pour certains constructeurs, l'amélioration de la sécurité routière n'est pas uniquement liée à la construction et la vente de véhicules. Des initiatives de formation et de sensibilisation auprès des jeunes sont par exemple réalisées par certains d'entre eux. Au-delà de la responsabilité sociétale, ce type d'actions a un impact économique indirect puisqu'il peut faire évoluer l'image de marque du constructeur.

²¹ La Liste des parties prenantes présentée dans cette figure provient d'une étude des travaux réalisés sur les systèmes Car to X. Elle est également liée à la proximité par rapport au LAB. En effet, les parties prenantes sélectionnées sont celles qui sont le plus en interaction avec le LAB (dans le cadre de projets par exemple).

Afin de correctement spécifier et valider leurs stratégies par rapport à leurs objectifs, les constructeurs automobiles ont un besoin permanent d'évaluation. Ils concernent les enjeux économiques, de santé publique, technologique, etc.

Outre la spécification de la performance, il est nécessaire de considérer le besoin d'évaluation en lien avec le processus de conception des véhicules. Les résultats d'évaluation sont utilisables par les constructeurs automobiles dans différentes phases de conception. Il est en effet possible d'évaluer des systèmes dès les premières étapes de la conception (conception préliminaire – les systèmes sont encore que des idées) ou bien à la fin du processus de conception pour la validation finale.

Les pouvoirs publics ont entre autres pour mission de protéger les citoyens. « *Le but de toute association politique est la conservation des droits naturels et imprescriptibles de l'Homme. Ces droits sont la liberté, la propriété, la sûreté et la résistance à l'oppression* »²². Afin de fournir un niveau de protection contre les dangers liés à l'insécurité routière (la sûreté), les pouvoirs publics mettent en œuvre des interventions. Elles concernent par exemple la formation et la sensibilisation des usagers, la construction d'un cadre législatif, le financement de projets de recherche, ou encore l'amélioration de l'infrastructure (exemple de la DDE²³ en France). Leurs actions sont multiples et recouvrent la plupart des typologies d'actions possibles (cf. 1.1.3.). Les évaluations doivent être réalisées à partir de cette diversité et pour répondre à des besoins de sélection, de décision, de suivie, etc. en considérant l'ensemble des enjeux de sécurité routière.

L'identification des parties prenantes et de leurs attentes est une tâche primordiale pour assurer la pertinence des résultats d'évaluation. Les évaluateurs construisent et/ou adaptent leurs pratiques afin d'atteindre ces objectifs. Nous avons cependant identifié plusieurs difficultés associées à cette tâche.

- **Quelles sont les parties prenantes à considérer pour la réalisation d'une évaluation ?**
- **Comment les caractériser et les différencier ?**
- **Comment formaliser/construire une question d'évaluation en fonction des besoins d'une partie prenante ?**
- **Enfin, comment construire l'évaluation d'une stratégie de sécurité de façon à ce qu'elle réponde à diverses attentes ?**

Afin de traiter ces problématiques en lien avec les parties prenantes et leurs attentes, nous proposons d'utiliser la notion de « point de vue » dans l'ensemble des travaux de modélisation (modèles du cas d'évaluation et de la stratégie de sécurité).

3.2.2. Les finalités

Nous abordons dans cette section une vision plus générale des finalités de l'évaluation que celles abordées dans la section précédente. Nous fournissons les connaissances théoriques

²² Article II de la Déclaration des Droits de l'Homme et du Citoyen de 1789.

²³ DDE : Direction Départementale de l'Équipement

destinées aux évaluateurs pour qu'ils puissent mieux comprendre les possibilités d'utilisation de l'évaluation.

L'évaluation a pour finalité de fournir des résultats qui aident les parties prenantes à atteindre leurs objectifs dans le cadre de la réalisation de leurs activités (section 1.1). Nous considérons par exemple les objectifs suivants : la validation des stratégies, l'optimisation, la critérisation, la classification, la sélection, la participation à une démarche de qualité, la conception, la répartition des ressources, la construction de connaissances, etc. Cette liste est donnée en exemple afin d'illustrer les types de problèmes rencontrés en évaluation. La formulation d'un problème d'évaluation permet la retranscription des objectifs pour la réalisation des évaluations. « *Réaliser la sélection d'une stratégie de sécurité parmi un ensemble de possibilités* » est un problème réel de sécurité routière qui porte à la fois sur des objectifs de comparaison et de sélection.

Nous présentons également des finalités qui sont propres à des disciplines mais qui sont transposables à la sécurité routière.

Dans le domaine des politiques publiques, « *la recherche évaluative* » consiste à mettre à l'épreuve une politique [Nioche, 1982]. Cette évaluation empirique conduit à la construction de relations de cause à effet entre les politiques et les impacts observés. Cela permet l'optimisation des politiques en fonction des attendus.

Dans le domaine des sciences de l'éducation, on distingue trois types d'évaluation qui ont chacune des objectifs bien spécifiques.

L'évaluation **diagnostique** sert principalement à faire un état des lieux afin d'identifier les faiblesses et les compétences des élèves pour ensuite établir un plan d'actions.

L'évaluation **formative** a pour objectif d'apporter des connaissances sur la progression de l'élève. C'est une évaluation intégrée dans la réalisation des processus (les résultats d'évaluation sont directement utilisés pour l'adaptation de la formation de l'élève – approche constructiviste).

Enfin, l'évaluation **sommative** sert quant à elle pour la construction d'un bilan des connaissances et des compétences afin de valider si l'acquisition des connaissances est conforme aux attentes ou aux normes. Il s'agit par exemple de comparer les résultats d'un élève par rapport au reste de la classe. Ces trois types d'évaluation ont des objectifs différents que l'on positionne par rapport au déroulement d'un processus d'apprentissage (spécification, réalisation et certification).

L'évaluation est également un **catalyseur du changement** grâce à sa capacité de génération de nouvelles connaissances. Le travail réalisé pendant l'évaluation permet de construire des connaissances nouvelles et utiles pour l'ensemble du cycle de conception des stratégies de sécurité. Nous désignons les connaissances telles que les résultats de l'évaluation ainsi que les connaissances de modélisation du système routier. Ces dernières, qui sont issues des interactions et des allers retours permanents durant l'évaluation, ont pour effet d'améliorer la représentation que l'on a du cas d'évaluation et de l'activité d'évaluation.

3.3. Indicateur d'évaluation en sécurité routière

Même si l'indicateur est un des éléments fondamentaux de l'évaluation en sécurité routière, les processus et les définitions qui le concernent manquent de formalisation. On trouve en effet peu d'informations sur sa définition structurelle et sur ses processus de construction.

3.3.1. Description structurelle des indicateurs

Un indicateur fournit une valeur objective qui renseigne sur la performance d'une stratégie de sécurité. Il est construit et calculé par les évaluateurs et est destiné aux parties prenantes.

Nos problématiques concernent sa définition et sa construction. Face à la diversité des domaines d'activité, comment sélectionner le ou les domaines d'activité pertinents pour un problème d'évaluation donné ? Comment activer et utiliser les domaines et les connaissances pour la construction des indicateurs ? Ces quelques questions sont fondamentales par rapport à notre travail de recherche sur le cadrage de l'activité d'évaluation.

Afin d'être calculé, un indicateur nécessite une structure opérationnelle (nous détaillons ces définitions dans le chapitre 10). Celle-ci est une formulation mathématique dans laquelle on retrouve les opérateurs mathématiques et les informations à collecter/mesurer. Cette formulation mathématique découle de la définition d'un indicateur (sa formulation littérale). L'exemple suivant est utilisé pour fournir une illustration des deux niveaux de formulation utilisés pour décrire un indicateur.

Exemple 3.4 - Exemple d'un indicateur pour l'évaluation de l'efficacité d'une stratégie de sécurité

Nous proposons un exemple qui est un indicateur d'efficacité d'une stratégie X de réduction du nombre des accidents mortels de piéton se produisant en ville sur la chaussée : « *rapport du risque pour un piéton d'être impliqué dans un accident mortel sur la chaussée lorsque la stratégie X est mise en place et du risque lorsque la stratégie X n'est pas déployée* ». Nous utilisons cette définition afin de fournir la formulation mathématique. Le « rapport » entre les risques implique l'utilisation de l'opérateur de division. Ensuite, pour définir le risque nous avons besoin d'une information d'exposition et d'une information caractérisant le danger. Cette dernière est le décès du piéton. La donnée d'exposition est par contre plus difficile à déterminer. Il peut s'agir du nombre de piétons par Km², du nombre de passages piétons par Km², du temps moyen où un piéton est sur la chaussée, du nombre de traversés effectués par des piétons par Km, etc. Le choix entre ces mesures d'exposition doit être pris et justifié par l'évaluateur. Dans notre cas nous sélectionnons « *le temps moyen où un piéton se trouve sur la chaussée* ». La formulation mathématique de l'indicateur devient :

$$\text{Indicateur} = \frac{\left(\frac{\text{nombre de tués avec la présence de la stratégie}}{\text{le temps moyen où un piéton se trouve sur la chaussée}} \right)}{\left(\frac{\text{nombre de tués lorsque la stratégie n'est pas présente}}{\text{le temps moyen où un piéton se trouve sur la chaussée}} \right)}$$

Ce résultat ne prend pas en compte l'ensemble des contraintes existantes sur les données et les outils de mesure. Dans notre exemple, les données d'exposition ne sont certainement pas disponibles. Ce manque conduit soit à définir un nouvel indicateur, soit à utiliser d'autres données permettant de trouver les valeurs souhaitées.

Dans notre modèle, les limitations opérationnelles ne sont pas prises en compte dans la construction ou la sélection des indicateurs pertinents. Elles sont néanmoins examinées lors de la construction des méthodes de calcul des indicateurs. L'intérêt est de pouvoir identifier des pistes de recherche lorsque l'indicateur n'est pas calculable.

3.3.2. La génération des indicateurs

Les indicateurs sont soit réutilisés soit générés par adaptation ou conception. Nous observons cependant que la réutilisation ou l'adaptation sont les deux processus les plus utilisés. Cela s'explique par le fait que les évaluateurs sont généralement des experts qui ont formalisé des patterns implicites de résolution de problème d'évaluation. Ils ont donc tendance à reproduire et à réutiliser les indicateurs d'évaluation existants.

Néanmoins, il est clair que face à l'évolution constante de l'environnement d'évaluation en sécurité routière, il y a un besoin pour la construction de nouveaux indicateurs.

Nous proposons deux cycles reliés l'un à l'autre pour décrire la construction et l'évolution des indicateurs (voir Figure 3.5).

Le premier cycle représente le lien entre la définition et la formulation d'un indicateur (cycle vert). Un changement sur l'une ou l'autre implique un changement sur l'autre. Le second décrit la transformation de la formulation mathématique et de la définition par la confrontation aux contraintes d'évaluation (cycle bleu).

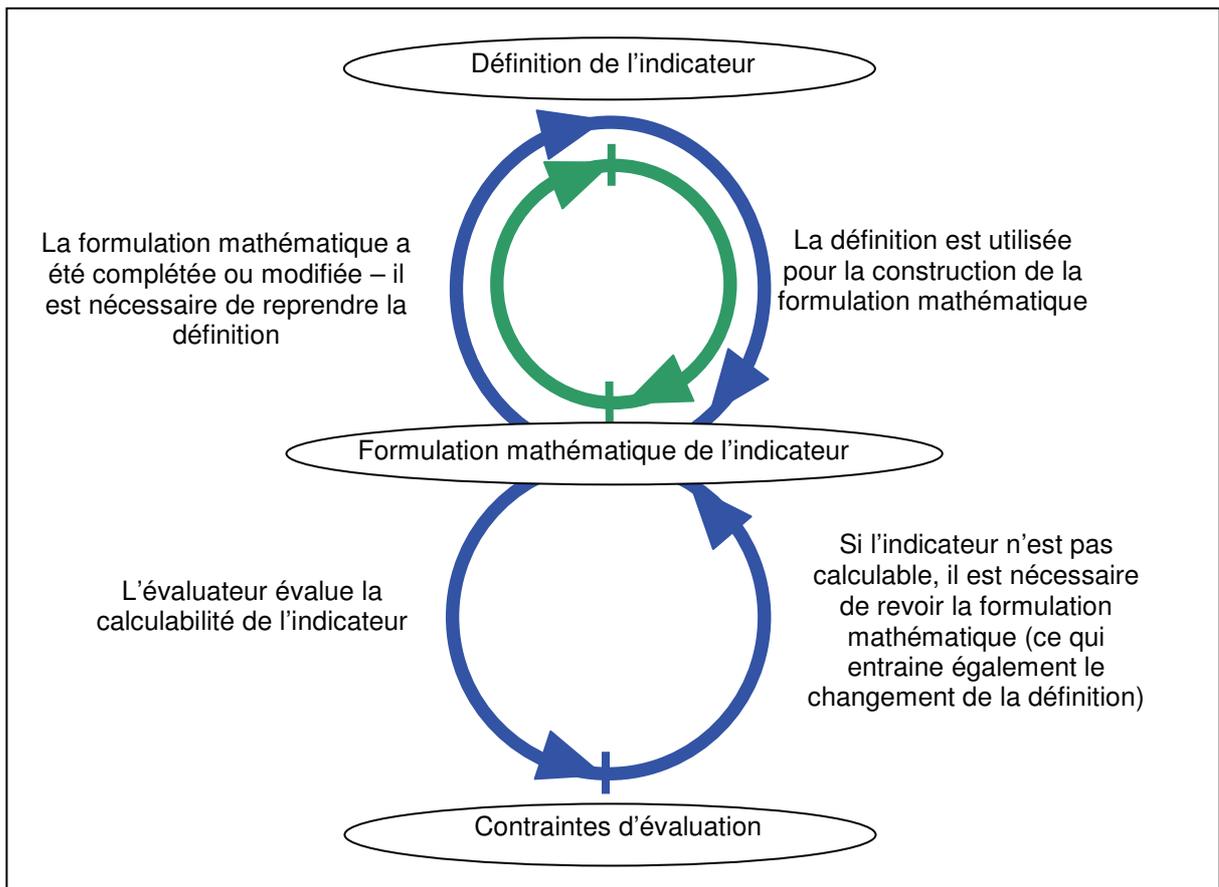


Figure 3.5 - Les cycles itératifs de construction des indicateurs

3.3.3. Utilisation des indicateurs

Un indicateur est pertinent s'il permet aux parties prenantes de réaliser leurs activités. Une bonne évaluation est donc définie comme une évaluation dont les résultats sont pertinents.

La pertinence renseigne sur l'adéquation entre les attentes des parties prenantes et les résultats des évaluations. Les indicateurs que nous cherchons doivent donc avoir un sens pour chaque partie prenante et les aider dans la réalisation de leurs activités. Ils sont spécifiques aux parties prenantes et leur utilisation est donc limitée. Nous cherchons à éviter les mauvaises interprétations qui seraient dues à l'utilisation d'indicateurs utilisés par la mauvaise partie prenante.

La pertinence intervient également (en plus de la phase de conception) dans la phase de restitution des résultats d'évaluation. Les évaluateurs ont pour objectif de synthétiser les résultats, les hypothèses, les limites d'évaluation. Mais comment choisir les données qui vont être transmises ? Et comment les présenter ?

Malgré l'importance de la pertinence, qui permet de juger de la qualité d'un indicateur et donc de l'évaluation, nous n'avons pas identifié d'approche permettant de la gérer dans la réalisation des évaluations. Il est donc envisageable de générer et de calculer des indicateurs inutilisables pour les parties prenantes.

Dans le reste de notre travail de recherche, nous posons comme hypothèse que la pertinence des évaluations est en lien étroit avec la compréhension du cas d'évaluation. En

effet, l'augmentation du niveau de connaissance sur le cas d'évaluation permet une augmentation de la pertinence de l'évaluation. Nous travaillons à fournir des modèles pour l'aide à la formalisation de connaissances sur les attentes des parties prenantes ainsi que sur les stratégies de sécurité évaluées. Ce travail de modélisation se heurte cependant à différentes difficultés telles que la complexité ou le manque d'accès à l'information.

3.3.4. Evolution des indicateurs

L'évolution d'un indicateur s'appréhende par l'évolution de ses finalités et des éléments nécessaires à sa génération et son calcul. Un indicateur est défini par rapport à des finalités liées à un contexte qui est en perpétuelle évolution. C'est par exemple l'évolution des problèmes des parties prenantes, des hypothèses de travail, des représentations du système routier, ou encore des méthodes de calcul.

Actuellement, les principales évolutions des indicateurs portent sur les points suivants :

- La première concerne le contexte d'évaluation en sécurité routière qui est en perpétuelle évolution. Ces évolutions conduisent parfois à changer les définitions des indicateurs (voir Exemple 3.5). Les attentes des parties prenantes peuvent avoir changé, les priorités ne sont plus les mêmes, les modèles du système routier ont évolué, etc.
- La deuxième évolution principale concerne l'évolution des hypothèses. La réalisation des évaluations (et donc la génération des indicateurs) reposent sur des décisions qui sont parfois dépendantes d'hypothèses. L'évolution de ces hypothèses implique donc une modification des décisions et donc des indicateurs.
-

Exemple 3.5 - Exemple d'évolution d'un indicateur par la modification de l'environnement d'évaluation

Nous utilisons un exemple d'indicateur destiné à la prise de décision sur la construction d'un hôpital. Il s'agit de spécifier l'infrastructure nécessaire pour la prise en charge des accidentés en ville. Un des indicateurs utilisables pourrait être basé sur la mesure du nombre de piétons renversés. Nous justifions ce choix par le fait que les accidents piétons interviennent en ville et qu'il représente une part élevée des accidents corporels.

Imaginons maintenant que nous faisons varier le contexte d'évaluation sans pour autant changer les attentes. L'évaluation concerne la construction d'un hôpital en campagne. Dans ce cas, la mesure des accidents de piétons n'est plus autant pertinente. Il est nécessaire de changer l'indicateur. On s'intéressera par exemple aux accidents dont la typologie est répandue en campagne.

L'évolution des indicateurs pose principalement deux questions. Comment identifier toutes les variations et changements qui peuvent avoir une influence sur la définition des indicateurs ? Et quels sont les mécanismes d'évolution des indicateurs ? Cette problématique sur la dynamique de l'évaluation implique une réflexion sur la dynamique du contexte

d'évaluation. Or nous savons que les changements potentiels du contexte sont nombreux et imprévisibles.

3.4. Caractérisation générale de l'activité d'évaluation

Dans cette section, des connaissances théoriques et multi domaines de l'activité d'évaluation sont fournies. Son objectif est double. Premièrement, nous identifions des connaissances sur lesquelles repose notre proposition de modèle de l'activité d'évaluation. Secondement, ces connaissances sont en partie les bases institutionnelles que les évaluateurs doivent maîtrisées afin de mener à bien leur activité. Ce sont par exemple des connaissances sur la notion de « performance » ou encore sur le rôle de l'évaluation. Cette section se justifie par la volonté de rechercher des théories et définitions dans des domaines autre que la sécurité routière et qui peuvent être transposables.

3.4.1. Les définitions

De nombreuses définitions ont été proposées afin de décrire l'activité d'évaluation. De part la diversité de cette activité, certains théoriciens de l'évaluation considèrent que chaque évaluateur se construit sa propre définition. Notre objectif dans cette section est de présenter et d'analyser certaines de ces définitions pour en construire une qui répond à nos attentes.

[Contandriopoulos *et al.*, 2000] définit l'évaluation comme une activité qui « *consiste fondamentalement à porter un jugement de valeur sur une intervention ou sur n'importe laquelle de ses composantes dans le but d'aider à la prise de décision. Ce jugement peut résulter de l'application de critères et de normes (évaluation normative) ou s'élaborer à partir d'une démarche scientifique (recherche évaluative)* ». [Thoenig, 2005] propose également une définition qui insiste sur la notion de jugement de valeur. « *L'évaluation, qui est un jugement basé sur des analyses rigoureusement fondées, ne se confond pas avec la science des résultats parfaits. Elle fournit une source de connaissance parmi d'autres références, comme le sens commun ou l'expérience, que les décideurs publics prennent en compte*».

Ces deux premières définitions insistent sur trois notions importantes de l'évaluation : elle fournit un jugement de valeur, elle sert à prendre des décisions et elle est réalisée en fonction d'un plan d'actions. Néanmoins, nous estimons que l'évaluation ne consiste pas uniquement à construire des jugements de valeur pour des problèmes de décision, il faut également considérer la mesure de performance (résultat objectif). De plus, l'approche de construction des plans d'action n'est pas définie.

[Micaëlli and Fougères, 2007] propose une vision créative de l'évaluation. « *L'évaluation peut se penser comme une conduite spécifiquement humaine, intelligente, de haut niveau. [...] L'évaluation a aussi une fonction, qui est d'améliorer le contrôle qu'exerce l'homme sur un acte donné. [...] Enfin, nul doute qu'à terme l'évaluation procurera des insatisfactions suite auxquelles ses résultats, ses modalités, sa finalité, voir son essence, seront remis en cause. Son devoir n'est pas*

écrit, il est pour le moins ambigu ». Cette analyse de l'évaluation introduit des notions pertinentes par rapport à nos besoins : l'évaluation est décrite comme une activité (l'évaluateur a en plus de son rôle d'exécutant un rôle de concepteur), elle a pour objectif d'aider les hommes dans la réalisation de leurs activités, et elle est évolutive. Il manque cependant les éléments permettant de définir les approches de construction et de transformation de l'évaluation. Elles ne peuvent pas uniquement reposer sur les compétences des évaluateurs.

Ces trois définitions ne sont pas entièrement suffisantes par rapport à nos besoins. Aucune d'entre elles ne fournit une définition globale de l'évaluation. Elles n'abordent que certains des quatre aspects nécessaires à la définition de l'évaluation (ontologique, fonctionnel, génétique et téléologique).

Nous proposons la définition suivante :

Définition 3.1 - Activité d'évaluation : *Elle se décrit comme une suite d'opérations qui sont construites grâce à l'intelligence et les heuristiques des acteurs et par l'utilisation de théories ou de concepts. Elles sont adaptées au contexte (action à évaluer, environnement, et acteurs) et poursuivent l'objectif de construire un jugement de valeur et/ou de mesurer les performances d'une stratégie en fonction de finalités.*

D'un point de vue ontologique, nous définissons l'évaluation comme une suite d'opérations (voir Figure 3.6) qui consiste à fournir des résultats (mesures de performance – cf. Section 3.4.4.1 - et jugements de valeur – cf. section 3.4.4.3). Ces derniers prennent la forme d'indicateurs d'évaluation mais également de connaissances qui portent par exemple sur le système routier. La suite d'opérations décrit également les aspects fonctionnels de l'évaluation. Ensuite, son évolution/génétique est liée à l'évaluateur. Il conçoit l'évaluation en fonction de ses connaissances, des modèles théoriques et de sa perception du cas d'évaluation. Cela permet de garantir l'évolutivité et la pertinence par rapport au contexte. Enfin, sa téléologie est retranscrite à travers les finalités. Elles expriment les objectifs que la réalisation de l'évaluation doit atteindre.

Nous proposons une description générique de l'activité d'évaluation afin de compléter notre définition. Elle se compose de 5 phases liées les unes aux autres par une structure séquentielle et par des boucles de rétroaction (voir Figure 3.6). Ces dernières servent pour la régulation de l'activité d'évaluation (en termes de corrections) mais également pour reconsidérer certaines des tâches réalisées tel que Argyris le décrit [Argyris, 1976] et [Argyris, 1977]. L'évaluateur apprend de ces interactions dans la réalisation des évaluations et il peut être amené à modifier la définition même du modèle de l'activité d'évaluation utilisé.

Nous définissons 2 phases amont qui portent sur l'analyse et la conception et 3 phases qui traitent de la réalisation de l'évaluation. Pour le reste de nos travaux, nous définissons la « méthode d'évaluation » comme une description du déroulement des trois phases de réalisation.

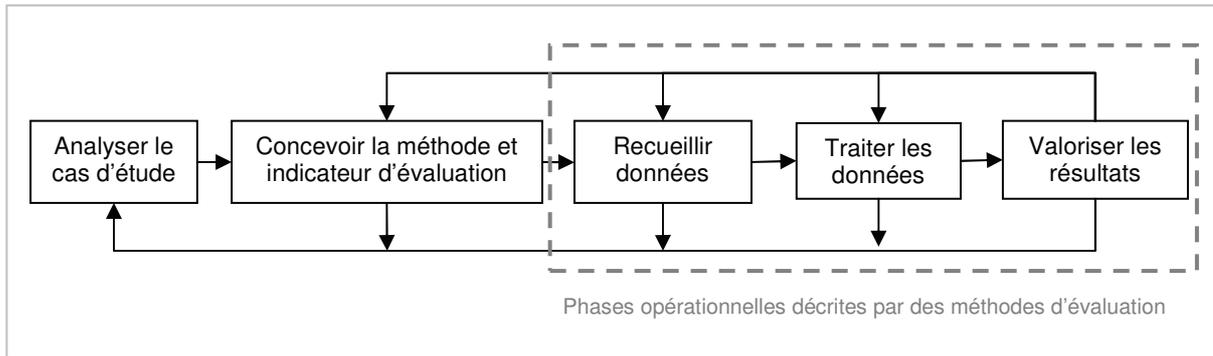


Figure 3.6 - Description générique de l'activité d'évaluation

Les connaissances présentées dans cette section fournissent une vue principalement ontologique de l'évaluation. Elle n'est pas suffisante pour guider opérationnellement la réalisation des évaluations. Il manque en effet une description détaillée des tâches à réaliser. Quelles sont les heuristiques et les théories utilisées par les évaluateurs pour réaliser ces tâches ? Quels sont les objectifs à atteindre ? Et quelles sont les méthodes pour mesurer les performances et construire les jugements de valeur ? Notre travail de recherche consiste à fournir des réponses à ces différentes questions. Elles sont présentées dans les parties III, IV et V.

3.4.2. Les paradigmes évaluatifs

Un paradigme évaluatif est une description systémique qui fournit une vision de l'activité d'évaluation. Il est systémique car il doit aborder la totalité des aspects de l'évaluation : ses finalités, sa description, ses fonctions et ses transformations. Les paradigmes font partie des connaissances théoriques utilisées par les évaluateurs pour la réalisation de leur activité. Il est donc primordial d'identifier celui qui correspond le mieux à leurs besoins.

Dans le paradigme **technocentrique**, l'évaluation a comme finalité la régulation (elle est basée sur la référence du thermostat). [Micaëlli, 2007] en propose un modèle de fonctionnement qui repose sur les interactions entre les entités suivantes : une cible qui est un artefact fonctionnant et se transformant dans un environnement actif, des opérateurs qui agissent sur l'état de la cible, un régulateur qui contient les règles d'ajustement et un pilote. Les opérateurs possèdent un modèle comportemental et déterministe des cibles : le régulateur. Cela leur permet d'adapter le fonctionnement des cibles de façon à ce qu'elles atteignent leurs objectifs. L'adaptation est commandée par les valeurs des performances des cibles. L'évaluation est définie et est figée, la mesure de la performance est toujours la même.

Dans ce paradigme, nous n'avons tout d'abord aucune certitude quand à la complétude et la justesse du modèle comportemental de la cible. Ensuite, il y a un autre problème qui concerne la complexité éventuelle de la cible. Comment faire s'il est impossible de fournir un modèle comportemental déterministe ? Enfin, ce paradigme propose une vision figée de l'évaluation dans laquelle il est impossible de modifier la logique d'évaluation. Le paradigme technocentrique n'est donc pas adapté à nos besoins de gestion de la complexité et de la nouveauté.

Afin de pallier aux limites de ce dernier, [Micaëlli, 2007] présente le paradigme de « **l'évaluation créative** ». Sa description s'articule autour : du postulat anthropocentrique et du postulat artificialiste. Le premier s'intéresse à la définition de « l'activité ». Pour Micaëlli, « *L'activité peut être saisie comme une conduite intentionnelle, fluide et proactive, par laquelle la situation est structurée dans un but favorable aux objectifs suivis par l'acteur qui la réalise. Ses objectifs peuvent viser la résolution d'un problème, la satisfaction d'un besoin, la réponse à des contraintes, la réalisation de challenges, etc.* ». A partir de cette définition, l'évaluation se conçoit comme une activité finalisée nécessitant de la part de l'évaluateur des capacités intellectuelles pour la construction de plans d'actions adaptés à l'environnement d'exécution. Le deuxième postulat ajoute au premier une notion fondamentale qui est la conception. L'activité de conception est nécessaire pour l'évaluateur car elle lui permet de construire des méthodes et des indicateurs d'évaluations. Ce paradigme est pertinent par rapport à notre problématique car l'évaluation est décrite comme activité s'adaptant à son contexte, elle n'est pas figée.

Nous nous intéressons maintenant à différents travaux qui portent sur la construction de **l'évaluation dans une épistémologie constructiviste**²⁴. [Briand, 2000] propose trois notions fondamentales qui caractérisent une évaluation dans un cadre systémique et donc constructiviste. La première porte sur la focalisation de l'analyse globale de l'évaluation et non plus uniquement sur les composants élémentaires. La deuxième prend en compte la transformation du système évalué. Et la troisième considère les interactions entre le système et son environnement. Dans [Contandriopoulos, 2000], l'évaluation dans le paradigme constructiviste participe au développement cognitif de l'individu évalué – l'élève dans ce cas précis. Cet apprentissage se construit grâce au traitement des informations mises à disposition par l'enseignant. C'est grâce à l'activité d'évaluation que l'enseignant a les moyens de mettre en place un plan d'actions finalisé pour fournir les informations. Dans le même ordre d'idée lié à l'apprentissage, [Lehoux et al., 1995] aborde l'évaluation par sa capacité à rapprocher les cliniciens et les chercheurs afin de construire des connaissances basées à la fois sur du savoir formel (apprentissage dans le cursus universitaire) et du savoir informel (élaborer par la pratique).

Guba et Lincoln sont les fondateurs de cette vision constructiviste de l'évaluation qu'ils nomment « **l'évaluation de quatrième génération** » [Guba and Lincoln, 2001] et [Lincoln and Guba, 2004]. Ils utilisent pour cela trois hypothèses fondamentales sur lesquelles repose le paradigme constructiviste. Les deux premières hypothèses, qui sont fortement liées, portent sur la relativité de la connaissance (hypothèse ontologique) et sur le rôle de l'observateur dans la construction (hypothèse épistémologique). Enfin l'hypothèse méthodologique considère l'acte de modélisation par l'interaction du sujet avec son environnement. Les deux phases principales de l'évaluation sont la découverte et l'assimilation. La découverte permet de construire une représentation du cas d'évaluation (objet d'étude et objectif). Et l'assimilation représente la phase dans laquelle l'évaluateur a en charge la recherche et l'intégration de nouveautés dans la pratique de l'évaluation. On trouvera dans [Lincoln,

²⁴ Paradigme épistémologique adapté à la modélisation des systèmes complexes. Nous le détaillons dans les chapitres 4 et 5.

[2004] une liste décrivant les différentes contraintes que l'évaluateur doit réaliser pour conduire une évaluation constructiviste.

L'approche constructiviste de l'évaluation insiste sur la relativité et l'évolutivité des connaissances utilisées et issues de la réalisation des évaluations. Ceci est pertinent car nous avons besoin d'être en mesure de considérer différents points de vue et d'adapter nos pratiques en fonction de l'évolution des connaissances des évaluateurs. La connaissance naît de l'interaction entre le sujet (l'évaluateur) et les phénomènes (le système routier et l'activité d'évaluation). En évaluation, l'interaction est permanente. La connaissance acquise n'est donc ni figée ni absolue, elle se construit pendant la réalisation des évaluations. C'est la récursivité de la cognition, l'évaluateur est en perpétuel apprentissage.

Le paradigme de « l'évaluation créative » et celui de « l'évaluation de quatrième génération » sont tous deux pertinents et complémentaires par rapport à notre problématique de recherche. Il semble cependant que leur utilisation nécessite de la part des évaluateurs une connaissance détaillée de leur fonctionnement, ce qui est une limite importante. Il n'est pas envisageable que chaque évaluateur maîtrise parfaitement ces paradigmes afin de réaliser son activité. Notre recherche a donc pour mission de construire un cadre adapté à l'évaluation en sécurité routière et qui soit opérationnellement utilisable.

3.4.3. L'évolution de l'activité d'évaluation

Nous proposons dans cette question d'aborder la transformation de l'activité d'évaluation par l'étude des modifications de ses objectifs.

Pour [Briand, 2000] l'évaluation n'est plus considérée comme une activité administrative (« *le système fonctionne-t-il bien ?* ») qui peut avoir l'effet pervers de couper les impulsions de changement à cause d'objectifs trop hauts. L'évaluation doit permettre d'acquérir des connaissances sur l'objet évalué et son contexte, tout en garantissant des changements dans l'organisation de l'évaluation. La question n'est plus « *le système fonctionne-t-il bien ?* » mais plutôt « *comment pourrait-il mieux fonctionner ?* ».

[Guba and Lincoln, 1989] proposent de définir quatre stades dans les pratiques de l'évaluation. Cette caractérisation présente les évolutions dans les pratiques en fonction des objectifs. Nous ajoutons que ces quatre stades sont complémentaires, ils peuvent être réalisés en parallèle.

- L'évaluation centrée sur la mesure – **évaluation de produits** : cette vision de l'évaluation nécessite l'utilisation d'instruments afin de réaliser les mesures, la fonction de l'évaluateur est réduite à celle de technicien opérateur. Il s'agit par exemple de mesurer la productivité, les résultats scolaires ou encore l'intelligence (test de QI).
- L'évaluation centrée sur la description des **processus** : ce stade qui apparaît à partir de 1920-1930 a pour objectif de décrire comment l'artefact évalué arrive à atteindre des résultats. On parle alors d'efficience et/ou d'effectivité.

- L'évaluation centré sur le **jugement de valeur** : l'évaluateur a pour mission d'attribuer une valeur à une intervention. On passe de la construction de résultats objectifs à des résultats subjectifs de l'évaluation.
- Enfin, l'évaluation a un rôle de **catalyseur du changement**. L'évaluateur n'est plus un simple observateur, il interprète des situations et est donc directement intégré dans des processus de changement.

Nos pratiques évaluatives au LAB sont principalement positionnées par rapport au premier stade (évaluation de produits). Par exemple, les mesures réalisées pour une stratégie de sécurité sont les variations du nombre de tués ou de blessés. Les autres objectifs ne sont pas suffisamment abordés, soit par décision soit par manque de connaissances ou de moyens.

Premièrement, l'évaluation basée sur la description des processus pose des difficultés. La principale concerne la nécessité de comprendre le fonctionnement des systèmes évalués. Or, dans le cas de la sécurité routière, il n'est pas toujours possible de comprendre et d'anticiper les fonctionnements du système routier (elle est par exemple liée à l'acceptabilité ou l'utilisation du système).

Secondement, les évaluateurs n'ont pas pour mission de fournir des jugements de valeur. Leurs résultats doivent être uniquement basés sur des faits et des hypothèses. L'interprétation des résultats se fait par exemple au niveau des décideurs chez les constructeurs automobiles.

Enfin, nous pensons qu'il y a une volonté de considérer l'évaluation comme catalyseur du changement. Cependant, on ne retrouve que partiellement ce positionnement dans les pratiques. Cela peut s'expliquer en partie par le manque de connaissances sur les enjeux de la sécurité routière mais aussi par un manque de formalisation de l'activité d'évaluation.

Cette vision dynamique de l'évaluation ne peut exister si on formalise des processus figés. Nous devons prendre en compte cette possibilité d'évolution en fonction des changements des objectifs.

Nous proposons de laisser la liberté à l'évaluateur de participer en permanence à l'apport de nouvelles connaissances sur l'évaluation (méthodes, indicateurs, et modèles des cas évalués). Le travail d'évaluateur n'est plus uniquement reposé sur les techniques d'évaluation existante mais relève de sa capacité à s'adapter aux situations et à concevoir de nouvelles méthodes d'évaluation.

3.4.4. La performance et le jugement de valeur

3.4.4.1. Le carré des performances

L'un des objectifs de l'activité d'évaluation est de mesurer les performances des stratégies de sécurité (voir Définition 3.1). La performance est un concept polysémique que nous définissons à l'aide de quatre concepts. Ces quatre notions sont : l'efficacité, l'efficience, la cohérence et l'effectivité

(voir les définitions suivantes²⁵). Nous proposons également « *le carré de la performance* » qui est utilisé comme synthèse des définitions (voir Figure 3.7).

Définition 3.2 - Efficacité : *c'est le rapport entre les objectifs et les résultats. Être efficace revient à produire un résultat qui répond aux objectifs fixés (c'est faire les bonnes choses).*

Définition 3.3 - Efficience : *c'est le rapport entre le résultat et les moyens mis en œuvre pour y arriver. Être efficace, c'est par exemple faire une bonne utilisation des ressources humaines, informationnelles, matérielles et financières, c'est faire les choses de la bonne façon.*

Définition 3.4 - Cohérence : *c'est le rapport entre les objectifs affichés et les moyens mobilisés afin de les atteindre. Il s'agit aussi bien des moyens humains que des moyens financiers mais également des plans d'actions mis en œuvre. La cohérence peut également être abordée suivant une perspective interne (cohésion entre les différents axes stratégiques) ou externe (cohérence de l'intégration du plan d'actions dans son environnement).*

Définition 3.5 – Effectivité : *c'est le rapport entre ce qui a été fait et ce qui devait être fait.*

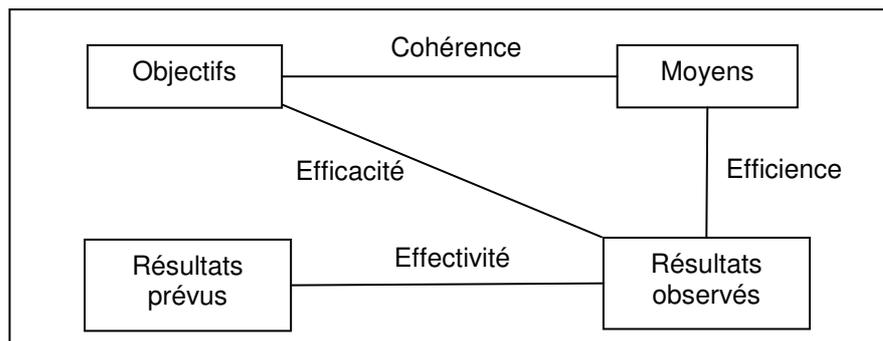


Figure 3.7 - Le carré des performances

Ces quatre notions servent à la construction générale de la performance. Elles font partie des connaissances que l'évaluateur doit utiliser pour la conception des évaluations. Le travail de l'évaluateur consiste à spécifier les modalités de ces notions en fonction des besoins exprimés dans le cas d'évaluation.

3.4.4.2. Transformation de la performance dans le milieu industriel

En plus des concepts présentés dans la section précédente, la notion de performance est caractérisée par les domaines (les points de vue) auxquels elle fait référence. Par exemple, l'efficience d'une stratégie de sécurité sera calculée différemment si on considère l'accidentologie ou l'économie. Nous nous intéressons ici à ces différences de points de vue en nous focalisant sur les mutations survenues dans le milieu industriel.

²⁵ Il existe différentes interprétations de ces concepts. Il s'agit ici de notre positionnement que nous avons construit à partir de l'analyse de l'existant et de la recherche d'une cohérence globale.

Les performances sont calculées dans l'objectif de piloter le fonctionnement des industries (mode de pilotage basée sur les performances). Celles-ci régulent leurs activités de façon à atteindre les objectifs de performance souhaités. La définition des performances est spécifique à une industrie et est réalisée en fonction de son contexte et de ses enjeux. Il s'agit par exemple de construire les indicateurs de performance en fonction de la réglementation environnementale, de la concurrence, des attentes des actionnaires, etc. Au cours de l'histoire la définition de la performance a évolué. Elle est passée d'une vision mono-critère focalisée sur les coûts (profitabilité) à une vision multicritères intégrant en plus les enjeux liés à la concurrence et au développement durable.

Ces évolutions se comprennent premièrement par l'inversion du rapport entre l'offre et la demande (voir Figure 3.8). Cette transformation est décrite en trois phases :

- La première phase est caractérisée par une demande supérieure à l'offre. La performance est focalisée sur les coûts.
- La seconde étape est une phase de stabilisation : l'offre est égale à la demande. Les entreprises commencent alors à être confrontées à des enjeux de concurrence. Cela les oblige à identifier des leviers pour augmenter leur rentabilité (triptyque coût, qualité et délai).
- La dernière est inverse à la première : l'offre est supérieure à la demande. Cette situation impose aux industries de développer des stratégies pour attirer la clientèle. Les performances concernent alors la communication, l'innovation, le SAV, etc.

Ces évolutions s'expriment secondement par le passage d'une vision de la performance basée sur les « *shareholders* » (les actionnaires) telle qu'elle est décrite par [Friedman, 1970] à une vision basée sur les « *stakeholders* » (les parties prenantes) telle qu'elle est par exemple décrite dans le modèle conceptuel de la performance sociétale de [Carroll, 1991] ou encore de la théorie des parties prenantes de [Freeman and McVea, 2001]. Dans la première, l'entreprise a pour objectif de satisfaire les attentes des actionnaires. Dans cette vision, les performances de l'entreprise sont principalement basées sur sa rentabilité financière. Dans la deuxième, l'entreprise a des objectifs à atteindre par rapport au fait qu'elle fait partie d'une société (au sens social du terme). Les performances sont par exemple basées sur son empreinte environnementale, sur la satisfaction des clients, sur son implication dans la formation de ses employés, etc.

La dimension sociale est intégrée dans une vision globale de la performance. En 1997, un groupe de travail du CGP (Commissariat Général du Plan français) a défini ce que devait être la performance des entreprises [Capron and Quairel-Lanoizelee, 2006]. Elle doit contenir une dimension publique (concerne tous les biens qui ont un caractère collectif), une dimension écologique (responsabilité vis à vis de la nature) et enfin une dimension social (exemple du chômage). Aujourd'hui, c'est à travers le développement durable (social, économique et environnement) qu'est définie la performance des entreprises. Cette logique rend possible la recherche d'un équilibre entre la dimension sociale, le développement économique et la protection de la nature [Lauriol, 2004].

[Germain and Trébuçq, 2004] s'interroge sur les réels fondements des approches sociales. Est-ce que les approches développées telles que le « *balanced scorecard* » sont rattachées directement aux objectifs stratégiques des entreprises ? Le lien entre les deux est parfois inexistant et

de ce fait le système de mesure de la performance n'a aucune pertinence dans la stratégie de l'entreprise. Ce flou s'explique en partie par la difficulté de spécifier une théorie de la responsabilité sociétale des entreprises.

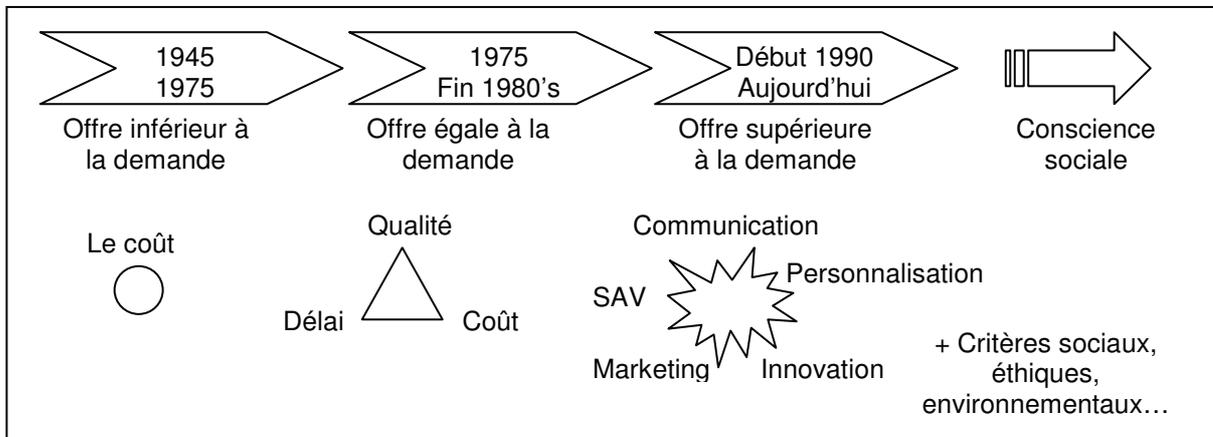


Figure 3.8 - Evolution de la notion de performance d'une organisation, [Schindler, 2009]

Par son lien étroit avec des enjeux de santé, les performances des stratégies de sécurité sont principalement définies en fonction d'un point de vue santé publique. Néanmoins, la sécurité routière est directement liée au milieu industriel, on retrouve donc des similarités dans les évolutions et les réflexions. Par exemple, la rentabilité financière d'un système de sécurité est une des dimensions à prendre en compte par les constructeurs automobiles pour le calcul des performances.

3.4.4.3. Le jugement de valeur

La performance est liée à un univers construit sur les faits, elle acquiert donc, dans une certaine mesure, une dimension absolue. Au contraire, le jugement de valeur est quand à lui défini dans un univers basé sur l'interprétation et donc la relativité. Chaque jugement de valeur est spécifique à la personne qui l'exprime. Un jugement de valeur n'a pas pour objectif de dire ce qu'est un objet ou un phénomène (c'est en partie le rôle des performances). Il consiste plutôt à exprimer un jugement basé sur la perception de l'élément évalué en fonction du contexte, des croyances et des connaissances de la personne émettant le jugement.

La construction d'un jugement de valeur impose donc la possession de connaissances contextuelles. Or l'évaluateur peut ne pas avoir ce type de connaissances. Par exemple, lorsqu'une question d'évaluation est émise par un constructeur automobile. Il est difficile, voir impossible, pour un évaluateur du LAB de construire un jugement de valeur. Il ne connaît pas tous les tenants et les aboutissants de la question. Néanmoins, nous pensons que l'évaluateur, qui est considéré comme un expert en sécurité routière (accidentologie, biomécanique, ergonomie, etc.), doit pouvoir émettre des jugements de valeur. Son interprétation est un des moyens de transmission de ses connaissances. Les constructeurs sont parfois demandeur de ce type d'approche. Ils demandent d'aller au-delà de

l'évaluation factuelle des stratégies de sécurité. Dans ce cas, l'analyse de l'expert a une valeur ajoutée sur l'évaluation.

Nous considérons que l'évaluateur a le choix de construire ou non les jugements de valeur. Sa décision se fait en fonction du contexte d'évaluation et en particulier en fonction des attentes des parties prenantes. Dans les deux cas, des connaissances décrivant les parties prenantes (activité et attentes) sont nécessaires. Elles permettent à l'évaluateur de construire l'évaluation de façon à fournir des résultats interprétables par les parties prenantes et/ou par lui-même. L'enjeu est ici d'identifier quelles sont ces connaissances. Notre modèle doit être une aide pour l'analyse mais il ne prétend pas fournir l'explication de la construction des jugements de valeur.

3.5. Synthèse

L'évaluation est une activité réalisée par des évaluateurs et dont les résultats sont destinés à des parties prenantes de la sécurité routière. Sa finalité est de fournir des mesures de performance ou des jugements de valeur sur les stratégies de sécurité dans l'objectif de participer au management global de la sécurité routière.

A travers cette analyse, nous identifions de nombreux enjeux et questions qui concernent tous les aspects de l'évaluation (sa définition, sa réalisation, ses finalités et ses changements). Ces observations servent à spécifier notre problématique de recherche sur le cadrage théorique de l'évaluation.

Les connaissances sur l'activité d'évaluation servent à spécifier notre piste de recherche et sont également les premiers éléments de réponse à notre problématique.

La définition de l'évaluation que nous proposons montre que c'est une activité complexe qui nécessite des comportements créatifs et finalisés de la part des évaluateurs. Les deux paradigmes liés à cette définition et qui sont pertinents par rapport à notre travail de recherche sont « *l'évaluation créative* » de Micaëlli et « *l'évaluation de quatrième génération ou évaluation constructiviste* » de Guba et Lincoln. Ils sont les mieux adaptés pour aborder la complexité de notre sujet de recherche. Ils sont cependant difficiles d'accès et compliqués à appliquer pour les évaluateurs. Notre travail consiste à construire un niveau de formalisation opérationnel de ces paradigmes tout en conservant leur nature (complexité et créativité).

« *Alors que l'ignorance de l'incertitude conduit à l'erreur, la connaissance de l'incertitude conduit, non seulement au doute, mais aussi à la stratégie* », E. Morin.

« *La stratégie est considérée comme un engagement de toute la collectivité de l'entreprise dans un processus d'adaptation et de réactivité aux événements* » [Génélot, 2001].

Chapitre 4. Cadre de réflexion et positionnement

Nous avons focalisé les précédents chapitres sur la présentation de l'activité d'évaluation. Les problématiques qui spécifient notre travail de recherche et des éléments théoriques sur lesquels repose en partie notre proposition ont été présentés.

Notre réflexion de recherche a cependant besoin d'être étendue à d'autres disciplines (autre que l'activité d'évaluation) afin de traiter certaines problématiques. C'est ce que nous abordons dans ce chapitre.

Le modèle de l'activité d'évaluation que nous construisons est focalisé sur deux objectifs : la modélisation du cas d'évaluation (attentes des parties prenantes et stratégie de sécurité à évaluer dans un contexte) et la conception d'indicateurs d'évaluation.

Afin de construire un tel modèle nous avons besoin, en plus des connaissances sur l'évaluation, de considérer les enjeux sur la modélisation, la complexité, la pluridisciplinarité et la conception. Nous présentons dans ce chapitre²⁶ nos positionnements par rapport à ces enjeux en nous intéressant aux domaines suivants : l'épistémologie, la modélisation de connaissances, et l'activité de conception.

4.1. *Enjeux liés à la complexité*

La **complexité** qui exprime le caractère imprévisible de l'évolution des systèmes se comprend à travers des processus d'adaptation et d'émergence. Nous la considérons à la fois pour caractériser le système routier et l'activité d'évaluation. Afin de d'étudier la complexité dans notre travail de recherche, nous commençons par une première section dont l'objectif est de décrire la complexité²⁷. Nous utilisons pour cela les travaux de J-L. Le Moigne et E. Morin.

²⁶ Ce chapitre sert à introduire les réflexions ainsi que nos positionnements vis-à-vis de ces domaines. Les chapitres suivants (ceux de la Partie III) ont pour objectifs de détailler les connaissances théoriques associées à ces domaines. Ce choix de présentation est justifié par notre volonté de proposer une lecture multi utilisateurs – voir guide de lecture.

²⁷ Cette partie est placée dans ce chapitre car elle apporte les connaissances nécessaires à la compréhension des enjeux. Le Chapitre 5 apporte des connaissances théoriques utilisables pour appréhender les problématiques liées à la complexité.

4.1.1. Définition de la complexité dans le cadre des travaux de J-L. Le Moigne et E. Morin

L'exemple suivant fournit une illustration de la complexité :

Exemple 4.1 - Complexité du calcul de la performance – Exemple d'un service d'évitement de collision

Nous illustrons le concept de complexité à l'aide d'un service de sécurité basé sur l'utilisation des services de communication C2X. Nous nous focalisons sur un service d'évitement de collision fronto-arrière. Ce service permet aux véhicules de partager des informations sur leur position respective. Il est alors possible de détecter un crash imminent grâce au calcul des inter-distances.

L'évaluation a priori d'un tel service fait face à de nombreuses interrogations. Qu'en est-il si un véhicule non équipé se retrouve au milieu de véhicules équipés ? Comment va se développer le marché des systèmes C2X ? Est-ce que les conducteurs vont changer leurs comportements ?

Pour cette dernière question, nous faisons un parallèle avec le système « city safety » de Volvo. Ce système freine automatiquement le véhicule lorsqu'un obstacle est proche (détection par radar) et que la vitesse ne dépasse pas la barre des 30 km/h. Les conducteurs utilisent ce système afin de réaliser des tâches secondaires lorsqu'ils sont dans les bouchons. Ils accélèrent en permanence et c'est le système qui régule automatiquement la distance avec le véhicule qui précède. Ces nouveaux comportements peuvent avoir des conséquences imprévisibles sur la performance en termes de sécurité. La baisse de vigilance de la part du conducteur peut avoir des répercussions sur la non prise en compte d'autres phénomènes (piétons qui traversent) ?

Les réponses à ces interrogations ont un impact direct sur le calcul de la performance de ce service. Cependant, nous n'avons pas la capacité d'y répondre de façon absolue. Les comportements des conducteurs et le marché des véhicules sont des systèmes imprévisibles. Dans ce cas, la complexité est à l'origine des limites sur la mesure de la performance de ce système.

Le terme « **complexité** » est mal compris et est souvent confondu avec la complication, et vice versa. La complication rend possible une modélisation déterministe même si cela nécessite l'utilisation d'un grand nombre d'équations. Le comportement d'un phénomène compliqué peut être totalement déterminé. Pour ce type de système, il est envisageable de réaliser un dénombrement exhaustif de ces composants. Une fois identifiés, ils sont combinés afin de modéliser le phénomène. Son comportement est ainsi déterminable à n'importe quel instant.

Selon [Morin, 2005], la complexité ne se résume pas à un grand nombre d'interactions, elle comprend des incertitudes. «*Qu'est ce que la complexité ? A première vue, c'est un phénomène quantitatif, l'extrême quantité d'interactions et d'interférences entre un très grand nombre d'unités. [...] Mais la complexité ne comprend pas seulement des quantités d'unités et interactions qui défient nos possibilités de calcul ; elle comprend aussi des incertitudes, des indéterminations, des phénomènes aléatoires. La complexité a dans un sens toujours à faire avec le hasard* ».

Historiquement, les problématiques scientifiques ont assimilé la complexité grâce aux fondateurs de la cybernétique que sont Wiener et Ashby. Cette première évolution est récente puisqu'elle date des années 40. Avant cela, les approches scientifiques réduisaient la complexité à la

complication en décomposant les phénomènes complexes en entités élémentaires compréhensibles, absolues et déterministes. Cependant, cette première évolution a abouti à la prise en compte de la complexité par la cybernétique à travers l'utilisation du concept de boîte noire [Wiener, 1965]. Le fonctionnement interne n'est pas modélisé soit par incapacité soit par choix. Le système est alors modélisé à l'aide de ses entrées/sorties et des ressources dont il a besoin sans pour autant s'intéresser à l'étude interne de la boîte noire.

La seconde évolution principale a été initiée par Von Neumann, Atlan et Prigogine. Ils furent les premiers à définir les deux concepts fondamentaux de la complexité : l'auto-organisation [Ashby, 1962] et [Heylighen, 2002] et l'incertitude. L'auto-organisation caractérise l'apparition de nouveaux comportements au sein des phénomènes par mutation ou par émergence. L'émergence explique la nouveauté par une apparition de changements dans la structure du système alors que la mutation l'explique par une transformation au niveau du gène (l'ontologie).

C'est dans ce contexte qu'Edgar Morin a permis en France la réhabilitation de la complexité en tant qu'objet d'étude et non plus uniquement comme caractéristique de certains systèmes. Son objectif était et est encore de participer à la construction d'un « paradigme de complexité » qui se veut être une synthèse des réflexions sur ce sujet.

Nous continuons cet historique sur la complexité par la présentation de la réflexion qui a eu lieu au début du XXe siècle sur l'univers et son paradoxe de l'organisation et du désordre. Le deuxième principe de la thermodynamique indique que l'univers tend au désordre maximal alors que l'on observe l'apparition de structures organisées. Le désordre grandissant participe à l'organisation de l'univers.

Morin utilise l'exemple du tourbillon (forme organisée qui dure indéfiniment) qui se produit derrière une pile de pont, « *un ordre organisationnel (tourbillon) peut naître à partir d'un processus qui produit du désordre (turbulence)* ».

Nous présentons également l'exemple du système routier dans lequel existent des structures organisées alors que son évolution tend à augmenter le désordre. L'apparition de nouveaux modes de déplacement, de compétences, de lois, de réglementations, etc. favorise l'accroissement du désordre alors qu'il y a toujours une certaine stabilité dans le fonctionnement du système routier.

Cette réflexion montre que la compréhension de l'organisation de l'univers nécessite la prise en compte du lien complexe et illogique²⁸ entre deux notions opposées : l'ordre et le désordre²⁹. Cette nouvelle solution de modélisation remplace la simplification qui consiste à « *dévoiler la simplicité cachée derrière l'apparente multiplicité et l'apparent désordre des phénomènes* ».

²⁸ Ce lien est a priori illogique car il est contre nature dans une approche cartésienne de modélisation. Il n'existe pas de modèles expliquant la création de l'ordre par le désordre. Ils sont alors considérés comme deux concepts antinomiques dont les définitions sont cloisonnées.

²⁹ L'ordre, qui caractérise un système, est spécifié par l'observateur qui est en mesure d'identifier une structure générique décrivant un système (constitution, fonctionnement, évolution et finalité). Le désordre exprime quant à lui la désorganisation d'un système ce qui se traduit par l'incapacité de l'observateur à construire des lois d'évolution et donc l'impossibilité d'anticiper les comportements du système.

Cette première évolution de la pensée permet d'abandonner une vision matérialiste des phénomènes, vision pour laquelle la matière est dotée de toutes les vertus productives. C'est l'abandon d'une « *vision unificatrice et simplificatrice de l'univers* ». Pour [Morin, 2005], « *Si nous concevons non plus un strict déterminisme mais un univers où ce qui se crée, se crée non seulement dans le hasard et dans le désordre, mais dans les processus auto-organiseurs [...], nous pouvons comprendre d'abord, au minimum, l'autonomie, puis nous pouvons commencer à comprendre ce que veut dire être sujet* ». Etre sujet exprime la capacité d'être en mesure de posséder une autonomie dans ses actes, c'est-à-dire de décider et de construire ses actions en fonction de finalités.

Par conséquent, la complexité s'explique en partie par la capacité des systèmes à faire apparaître de nouveaux comportements qui naissent de l'auto-adaptation de ses éléments à un environnement sans cesse en mouvement. Cette adaptation des systèmes s'effectue en fonction de finalités.

La complexité est liée à l'incertitude qui peut se comprendre soit par les limites de notre entendement soit par la complexité intrinsèque du phénomène observé. Selon [Le Moigne, 1999]., cette incertitude métaphysique³⁰ n'est pas au centre des réflexions de l'action humaine. Elles portent plus sur les représentations des phénomènes que sur eux-mêmes, « *L'intelligibilité n'excluant pas l'imprévisibilité, la complexité est alors une propriété attribuée, délibérément, par les acteurs aux modèles par lesquels ils se représentent les phénomènes qu'ils déclarent complexes* ». Ce positionnement, auquel nous adhérons, considère donc que la complexité est une propriété que le modélisateur attribue à son système. Nous le justifions par le fait que même si nous possédons des représentations intelligibles des phénomènes, il y a toujours une place pour l'imprévisibilité qu'elle soit issue du phénomène ou de notre incapacité à le modéliser dans sa globalité.

Notre positionnement diffère de celui développé par exemple en mathématiques dans la résolution de problèmes algorithmiques. Dans ce cas, la complexité définit uniquement l'impossibilité théorique d'atteindre une solution d'un problème donné en temps fini. Les limites de notre entendement expriment uniquement les limites liées à l'efficacité des méthodes de calcul.

4.1.2. La complexité du système routier et de l'évaluation

Nous montrons dans cette section en quoi nos objets d'études, qui sont l'activité d'évaluation et le système routier, peuvent être caractérisés comme complexes.

Premièrement, la complexité de **l'activité d'évaluation** se comprend à travers ses aspects ontologiques, fonctionnels, génétiques et téléologiques. C'est une activité qui est décrite comme un ensemble d'actions qui sont conçues et qui interagissent pour s'adapter à un environnement et à des objectifs en évolution imprévisible.

³⁰ Question métaphysique car elle cherche à caractériser la réalité sans considérer une science en particulier mais plutôt en considérant la réflexion humaine.

L'évaluateur fait preuve d'une autonomie dans la construction de nouvelles actions évaluatives. Il les conçoit pour qu'elles soient adaptées à l'environnement et qu'elles répondent aux besoins exprimés par les parties prenantes. La complexité de l'activité se comprend donc de la complexité de son environnement et de sa définition en tant qu'activité réalisée par l'évaluateur. Le plan d'actions de l'évaluation (la structure ordonnée) naît du désordre³¹ engendré par la complexité grandissante du contexte de l'évaluation et par l'action de l'évaluateur.

La conséquence de cette complexité de l'activité d'évaluation est l'impossibilité d'en construire un modèle déterministe qui spécifierait un plan d'action générique applicable à tous les cas d'évaluation³². L'activité d'évaluation doit être construite par l'évaluateur en fonction de ses interactions dynamiques avec son environnement. Il utilise pour cela ses connaissances institutionnelles et ses capacités cognitives de créativité. Il est un concepteur actif et autonome et doit mettre en œuvre des processus cognitifs complexes afin de réaliser son activité.

Malgré ce positionnement par rapport à la complexité, nous considérons qu'il est possible, dans certains cas, d'identifier des modèles déterministes. Ceux-ci émergent par la pratique et sont représentatifs d'une généricité dans l'utilisation de certains plans d'actions. L'utilisation de ces modèles est pertinente lorsque l'évaluateur fait face à des cas identiques (ou proches) d'évaluation. La réutilisation est alors possible et est un avantage dans la réalisation des évaluations (gain de temps et meilleure utilisation des ressources).

Deuxièmement, nous considérons le **système routier** comme un système complexe car il est composé d'un ensemble d'éléments en interactions dynamiques dont les comportements évoluent et se construisent en fonction de finalités et de façon à s'adapter aux évolutions de l'environnement. Les changements dans les comportements et les interactions sont à la fois les conséquences et les causes. Chaque élément constitutif du système routier peut faire émerger de nouveaux comportements qui sont à leur tour à l'origine de l'émergence de nouveaux comportements.

La dynamique imprévisible des comportements des conducteurs illustre cette complexité. Ils adaptent leurs comportements afin de garantir leur finalité principale qui est souvent celle de se déplacer d'un point A à un point B. Ils poursuivent également d'autres finalités liées par exemple au plaisir ou à l'efficacité. Leurs comportements sont spécifiés par leurs connaissances ainsi que par leurs expériences et ne peuvent être totalement prévisibles.

Malgré cette complexité globale, nous estimons que le système routier peut être perçu comme une structure organisée à un niveau de description macroscopique. Il est alors possible de construire des modèles déterministes. Nous pouvons en effet identifier une certaine stabilité dans son fonctionnement qui permet par exemple de construire des modèles décrivant le trafic routier ou des modèles de prédictions du nombre d'accidents. Ces modèles déterministes sont parfois suffisants pour la description mais ne permettent pas toujours la compréhension totale des phénomènes.

³¹ Le désordre est la conséquence de l'évolution permanente du contexte d'évaluation. Cela se traduit par un flot d'information constant et désorganisé à destination de l'évaluateur.

³² Nous envisageons uniquement la possibilité de créer des modèles déterministes pour certaines parties de l'évaluation mais pas dans sa globalité.

Nous concluons que la complexité est attribuable à la fois à l'activité d'évaluation et au système routier. Face à ce positionnement se dresse le problème de la modélisation : comment modéliser l'activité d'évaluation et le système routier en intégrant la complexité ?

Les méthodes classiques de modélisation basées sur les principes de Descartes ne sont pas adaptées pour l'appréhension de la complexité car elles sont basées sur des paradigmes absolus et déterministes de la connaissance. La complexité n'a pas de sens dans ces approches car l'imprévisibilité ne peut exister. Dans ce cas la complexité est réduite à la complication voire à la simplicité. Nous cherchons à intégrer la complexité dans nos propositions méthodologiques sans la réduire à la complication.

4.1.3. Positionnement épistémologique

Afin de traiter ces objectifs de modélisation de l'activité d'évaluation et du système routier, nous avons besoin de considérer les questions relatives au statut, à la construction, à l'utilisation et à la validation des connaissances.

L'étude des connaissances est traitée par l'**épistémologie**³³. C'est une branche de la philosophie des sciences. Piaget (cité dans [Le Moigne, 1999]) définit l'épistémologie « *en première approximation comme l'étude de la constitution des connaissances valables* ». Cette définition aborde les trois grandes questions qui portent sur le statut, la construction et la validation des connaissances (voir chapitre 4). L'épistémologie renseigne sur les façons de percevoir le monde dans lequel on évolue, d'accéder aux connaissances et de valider les connaissances obtenues.

Parmi les courants épistémologiques, les deux principaux sont le **constructivisme** et le **positivisme**. Le constructivisme considère le caractère relatif et évolutif de la connaissance. Elle n'existe que dans un contexte particulier et pour un observateur défini. En d'autres termes il y a un lien très fort entre l'observateur, son contexte d'observation, ses expériences, et la représentation du système observé. Il peut donc exister plusieurs modèles d'un même système (plusieurs observateurs) qui évoluent au cours du temps par transformation de l'environnement et/ou de l'observateur. Le positivisme, qui diffère du constructivisme, considère le caractère absolu, stable et objectif de la connaissance. Il n'y a pas de prise en compte du contexte et l'on ne peut connaître que ce qui est observable. De plus, les expériences, les connaissances et les finalités de l'observateur ne sont pas prises en compte dans la modélisation.

Cette réflexion sur les épistémologies est justifiée par notre besoin de changer de paradigme (cadre de pensée) pour dépasser ce que l'on a l'habitude de faire. Cela concerne aussi bien la définition générale de l'activité d'évaluation que les tâches associées à celle-ci.

Nous utilisons les deux paradigmes décrits en fonction de nos besoins. Nous nous appuyons sur le constructivisme pour sa capacité à fournir un cadre adapté à la compréhension de la complexité. Il nous est utile pour le cadrage de l'évaluation en tant qu'activité ainsi que pour l'appréhension de la complexité dans la modélisation des cas

³³ Nous détaillons les paradigmes épistémologiques dans le chapitre 4.

d'évaluation. Le positivisme est quand à lui utilisé dans l'objectif de traiter certains aspects déterministes et/ou absolus de l'évaluation. Il est par exemple employé lorsque nous modélisons certaines méthodes génériques d'évaluation.

4.2. Enjeux et positionnement sur la modélisation des connaissances

4.2.1. Enjeux sur l'activité de modélisation

La construction d'un modèle de l'évaluation a pour objectif d'identifier et/ou de construire les connaissances renseignant l'ensemble de ses aspects, c'est-à-dire son ontologie, ses finalités ainsi que les activités décrivant son fonctionnement et ses évolutions. Cet objectif est à réaliser dans un contexte pour lequel nous considérons l'expertise des évaluateurs, la complexité et les attentes en sécurité routière.

Nous abordons également la modélisation dans le fonctionnement de l'évaluation. Les évaluateurs, afin de réaliser leur tâche, ont besoin de modèles qui décrivent leur contexte. Il s'agit par exemple de comprendre le commanditaire, la stratégie évaluée, le problème traité, etc. Or, nous avons observé qu'il n'y a pas de méthodes suffisamment formalisées pour cela. Il y a donc besoin de construire un modèle à destination des évaluateurs leur permettant de modéliser des connaissances sur les cas traités.

Afin d'atteindre ces objectifs, nous utilisons certaines des connaissances existantes sur l'activité de modélisation. Pour cela, nous étudions premièrement les épistémologies positivistes et constructivistes en nous focalisant sur leurs propositions méthodologiques de construction des connaissances. Nous étudions secondement l'ingénierie des connaissances.

4.2.2. Positionnement par rapport à l'activité de modélisation

Nous nous intéressons aux aspects méthodologiques de construction des connaissances en nous focalisant sur **l'activité de modélisation**. Afin de traiter cette activité nous faisons appel à deux disciplines/domaines de recherche : l'épistémologie et l'ingénierie des connaissances³⁴.

La **logique classique de modélisation**, qui est liée à la logique cartésienne, consiste à décomposer les systèmes en composants élémentaires et compréhensibles sans prendre en compte les finalités de l'observateur. C'est une méthodologie associée au positivisme qui implique l'existence d'une unique représentation absolue et déterministe du système modélisé. Elle n'est cependant pas adaptée à la complexité des phénomènes que nous cherchons à modéliser. En effet, elle ne permet pas d'expliquer les processus d'émergence et d'adaptation que nous avons illustrés dans la section 1.1.2 (exemple de l'ABS et de l'avertisseur de collision). La logique classique de modélisation est focalisée sur la décomposition en éléments simples alors que la complexité se comprend par l'étude

³⁴ Nous détaillons ces disciplines/domaines de recherche dans les chapitres 4 et 5.

des interactions. Enfin, la notion de point de vue est absente dans cette logique de modélisation. Elle est considérée plutôt comme une approche de description alors que nous avons également besoin d'une approche pour la compréhension.

Afin de pallier aux limites de la logique classique de modélisation, il est indispensable de posséder un cadre de modélisation qui soit adapté à la complexité. En complément d'une approche positiviste, nous adoptons un cadre de pensée basé sur la **modélisation systémique**. Elle considère que tous les phénomènes ou objets modélisés sont considérés comme des systèmes qui existent (hypothèse ontologique), qui fonctionnent (hypothèse fonctionnelle) et se transforment (hypothèse génétique) dans un environnement actif en suivant leurs finalités (hypothèse téléologique).

Nous utilisons les travaux de Le Moigne ainsi que ceux de H.A. Simon, L Von Bertalanffy ou encore J. Piaget. Ils ont tous contribué à la construction de la théorie générale des systèmes (ou théorie de modélisation systémique).

L'ingénierie des connaissances fournit les concepts, les méthodes et les outils permettant d'acquérir de la connaissance et de l'utiliser. Trois approches de modélisation sont proposées. Il y a une approche basée sur l'expertise (approche ascendante ou dirigée par les données). Une autre sur la réutilisation des connaissances existantes (approche descendante ou dirigée par les modèles). Et la dernière qui est un mixte des deux premières. Notre travail est positionné par rapport à cette dernière car nous utilisons à la fois les connaissances théoriques issues de la systémique (mais pas uniquement) et des connaissances expertes des évaluateurs. Ce positionnement nous a conduit à réaliser des workshops sur l'activité d'évaluation avec des parties prenantes de l'évaluation en sécurité automobile et dans d'autres domaines.

4.3. Enjeux et positionnement de la conception des évaluations

4.3.1. Enjeux sur la conception des indicateurs

Les approches de conception des indicateurs reposent principalement sur des approches expertes. Les évaluateurs les conçoivent en fonction de leurs connaissances et de leurs expériences. Le risque principal de ces approches est que dans certains cas l'évaluateur ne soit pas en mesure de fournir des indicateurs adaptés à un nouveau problème d'évaluation. La nouveauté des cas d'évaluation implique l'utilisation d'approches de conception afin de générer de nouveaux indicateurs et méthodes d'évaluation.

Notre travail de recherche est focalisé sur la conception des indicateurs. Afin de garantir cette tâche, il est nécessaire de posséder une spécification des attentes des différentes parties prenantes, des connaissances des évaluateurs, d'une capitalisation des anciennes évaluations et d'un outil d'aide à la conception de nouvelles méthodes d'évaluation. L'objectif est de baser la conception sur une compréhension et une vision globale de l'environnement d'évaluation. Il ne s'agit plus uniquement de réutiliser ou d'adapter les méthodes existantes de façon systématique, il est question de conception afin de faire face à la nouveauté et à la complexité.

4.3.2. Positionnement par rapport à l'activité de conception

La conception des indicateurs peut être traitée par deux approches complémentaires. La première considère que la conception est une activité qui peut être automatisée. La seconde s'appuie sur les compétences créatives des concepteurs. Dans ce cas, les méthodes ont alors pour objectifs de guider et d'aider les concepteurs. Nous adoptons ces deux approches dans notre travail de recherche.

La conception automatique d'indicateurs d'évaluation permet de fournir très rapidement une liste d'indicateurs. Cette méthode s'appuie sur un modèle générique de la structure des indicateurs, sur les éléments utilisables pour les générer et enfin sur des règles de conception et de sélection. Les évaluateurs ont uniquement pour rôle de fournir les données nécessaires au fonctionnement de la méthode. Les autres connaissances doivent être définies dans le cadre de notre recherche.

Une des principales difficultés concerne la restitution et la sélection des indicateurs. En effet, l'utilisation de cette méthode conduit potentiellement à la génération d'un grand nombre d'indicateurs. On estime que plusieurs milliers d'indicateurs peuvent être générés. Il est alors impossible pour un évaluateur de tous les examiner afin de sélectionner celui ou ceux qui sont pertinents. Une technique automatique de sélection est donc nécessaire.

L'approche de créativité cherche à fournir aux concepteurs des méthodes et/ou des outils et/ou une vision afin qu'ils puissent concevoir. Pour cela, le concepteur n'est pas considéré comme un opérateur qui exécute une méthode absolue et déterministe. Il est un être doué d'une intelligence qui fait appel à ses compétences pour concevoir de nouveaux indicateurs. Notre travail consiste à cadrer cette activité.

Les deux principales difficultés de cette approche concernent la diversité des compétences des concepteurs et son opérationnalisation. Comment faire en sorte que la méthode soit adaptée et utilisable par tous les concepteurs d'indicateurs d'évaluation ?

4.4. Synthèse

Ce chapitre détaille les enjeux liés à la complexité, la modélisation des connaissances et l'activité de conception (appliquée à la conception des indicateurs). Pour chacun de ces enjeux, nous présentons les positionnements de notre travail de recherche.

Dans un premier temps, un état de l'art sur la complexité est présenté. Il est utile pour caractériser les enjeux sur la complexité dans notre travail de recherche. Ils concernent à la fois l'activité d'évaluation et le système routier. Le besoin de modéliser ces deux systèmes conduit à positionner notre travail par rapport aux deux principaux paradigmes épistémologiques : le constructivisme et le positivisme.

Dans un second temps, les enjeux sur la modélisation des connaissances sont détaillés. Ils concernent le besoin d'identifier des approches opérationnelles de modélisation. La systémique, la modélisation cartésienne et une logique mixte de modélisation sont utilisées dans nos travaux.

Enfin, nous terminons par exposer les enjeux sur l'activité de conception. Dans certains cas, de nouveaux indicateurs d'évaluation doivent être conçus. Deux approches complémentaires de conception sont sélectionnées. L'une consiste à générer automatiquement des indicateurs à partir d'éléments à disposition. La deuxième est basée sur une vision créative de la conception.

La partie suivante présente les connaissances théoriques se rapportant aux domaines nécessaires au traitement des enjeux présentés.

Partie III - Cadre et positionnements théoriques

Dans la partie II, nous avons identifié les théories et modèles existants qui sont pertinents par rapport à notre problématique de cadrage de l'activité d'évaluation en sécurité routière. Nous avons également discerné les principaux enjeux qui doivent être traités afin de proposer un modèle de l'activité d'évaluation. Ces enjeux sont repartis suivant trois thématiques principales : la complexité, l'activité de modélisation et la conception des indicateurs. La partie III a pour objectif de présenter les disciplines et domaines de recherche en lien avec ces enjeux. Nous cherchons à identifier les connaissances utilisables pour (1) l'analyse de la complexité du système routier et de l'activité d'évaluation, (2) construire des modèles à destination des évaluateurs pour les aider à réaliser leur tâche et (3) des théories et approches pour guider la conception des indicateurs d'évaluation.

Nous abordons dans un premier temps l'épistémologie. C'est la science qui a pour étude le statut, la construction et la validation des connaissances. Nous l'utilisons afin de traiter deux points majeurs de notre recherche : la complexité et la modélisation. Nous cherchons des approches pour la prise en compte de la complexité dans la réalisation des évaluations. Ce premier chapitre est focalisé sur deux paradigmes épistémologiques, le constructivisme et le positivisme, qui apportent chacun des réponses différentes pour traiter la complexité et la modélisation. Nous détaillons la systémique qui correspond à l'approche de modélisation du constructivisme.

Nous poursuivons par un deuxième chapitre qui concerne l'ingénierie des connaissances (IC). Ce chapitre complète les approches que nous avons présentées dans l'étude des paradigmes épistémologiques. L'IC permet de cadrer d'un point de vue opérationnel la modélisation. Elle propose diverses approches qui sont basées sur l'utilisation des connaissances expertes des évaluateurs et/ou des connaissances théoriques telles que celles issues de la systémique. Ce chapitre est aussi utile dans la présentation de la mémoire de projet.

Enfin, nous terminons par un chapitre dont l'objectif est la justification de l'utilisation d'une théorie pour guider la conception des indicateurs d'évaluation. La décision est principalement justifiée par le besoin de fournir un modèle expliquant la créativité afin de répondre au besoin de construire de nouveaux indicateurs.

Chapitre 5. Complexité et modélisation systémique³⁵

Nous avons identifié le besoin de considérer la complexité de l'activité d'évaluation et du système routier. Sa prise en compte nécessite de reconsidérer les approches existantes de l'évaluation, nous cherchons à dépasser les habitudes. Pour cela une réflexion sur le positionnement épistémologique est nécessaire. L'objectif est d'identifier un cadre de pensée sur lequel reposera notre modèle de l'activité d'évaluation. Nous présentons dans ce chapitre les théories en épistémologie permettant de répondre en partie aux enjeux de modélisation. Nous détaillons les connaissances sur le statut, la construction et la validation des connaissances.

Nous synthétisons les apports de ce chapitre dans la Figure 5.1.

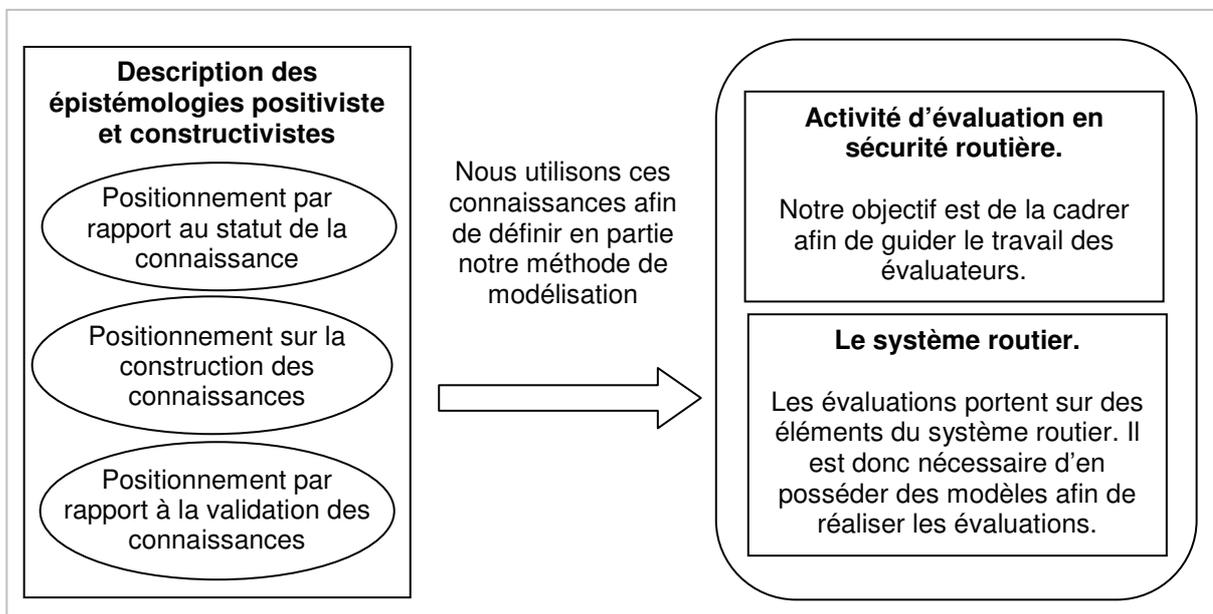


Figure 5.1 - Présentation des apports du chapitre 5 pour notre travail de recherche

5.1. La recherche d'un positionnement épistémologique

Nous détaillons les questions relatives à l'étude des épistémologies. Elles nous sont ensuite utiles afin de détailler par la suite les deux épistémologies que nous considérons. Les questions sont les suivantes :

- « Qu'est ce que la connaissance (la question gnoséologique) ? »
- « Comment est-elle constituée ou engendrée (la question méthodologique) ? »
- « comment apprécier sa valeur ou sa validité (la question éthique) ? »

³⁵ Cette étude sur la complexité, les épistémologies, la vision systémique et la modélisation a fait l'objet d'un travail collectif réalisé par le groupe systémique du Laboratoire Génie Industriel de l'Ecole Centrale Paris composé de Moustapha Dandache, Romain Fricheteau et Aude Schindler.

La première question aborde l'étude des liens entre les connaissances et la réalité. Elle cherche à savoir si la connaissance est la représentation directe de la réalité ou des interactions entre la réalité et l'observateur/modélisateur.

La deuxième question concerne la construction des connaissances. C'est la question sur laquelle nous nous focalisons le plus dans ce chapitre. Elle porte essentiellement sur l'activité de modélisation.

Enfin la dernière question traite la validité des connaissances engendrées. L'observateur et/ou le modélisateur cherche à évaluer les connaissances identifiées ou construites en utilisant des critères ou des principes évaluatifs.

5.1.1. Le positivisme

Les deux auteurs essentiels de cette épistémologie sont René Descartes (1596-1650) puis Auguste Comte (1798-1857). Le positivisme propose de fournir une méthode pour l'interprétation mathématique de l'univers.

La pensée cartésienne, qui s'exprime à l'aide des préceptes de « réalité existentielle », de division, de décomposition et d'exhaustivité [Descartes, 1637], est la source de la science moderne. A partir de cette pensée et des travaux d'autres auteurs comme Roger Bacon, Auguste Comte spécifie les premiers fondements du positivisme dans son « *cours de philosophie positiviste* » (début d'écriture en 1926) [Comte, 1848] et [Kremer-Marietti, 2006]. Son objectif est de proposer une démarche pour la description des lois de la nature. Il considère pour cela que la connaissance est accessible grâce à l'utilisation de méthodes analytiques et expérimentales.

[Le Moigne, 1999] présente les différentes hypothèses de base qui sont associées aux épistémologies positivistes. Il distingue deux hypothèses gnoséologiques (ontologique et déterministe) et deux principes méthodologiques (modélisation analytique et raison suffisante) :

- **L'hypothèse ontologique** : la réalité existe sans l'observateur³⁶ et son travail consiste à la découvrir. L'observateur sait qu'il existe une réalité et il tente d'enrichir ses connaissances en s'approchant d'elle.
- **L'hypothèse déterministe** : elle complète la première hypothèse en proposant d'instaurer une causalité dans la nature. Il existe des relations de causalité qui déterminent la nature et qui lui sont propre, l'objectif est d'y accéder. L'évolution des sciences a induit l'ajout du déterminisme statistique au déterminisme causaliste. Ceci n'a cependant pas remis en question le caractère existentiel de la réalité.
- **Le principe de la modélisation analytique** : c'est le principe de la décomposition du système en briques élémentaires et connaissables. On accède à la connaissance en décomposant les objets que l'on cherche à modéliser.

³⁶ On utilise le terme « observateur » et non pas « modélisateur » car dans le positivisme celui qui modélise a un rôle d'observateur.

- **Principe de la raison suffisante** : selon Leibniz (cité dans [Le Moigne, 1999]), « *rien jamais n'arrive sans qu'il y ait une cause ou du moins une raison déterminante, c'est-à-dire quelque chose qui puisse servir à rendre raison a priori pourquoi cela est existant plutôt que non existant, et pourquoi cela est ainsi plutôt que de toute autre façon* ». Le réel possible doit être explicable en raison.

En conclusion, l'épistémologie positiviste donne à la connaissance un statut absolu, stable et objectif. La connaissance est formalisée par la décomposition en éléments simples de ce qui est observable. On ne peut connaître que ce qui est observable. L'observateur et son contexte n'ont pas d'influence dans le processus méthodologique d'identification de connaissances.

5.1.2. Le constructivisme

L'épistémologie constructiviste est plus récente que le positivisme. Les premières réflexions sur cette épistémologie sont attribuées à L. Kronecker (1823-1891) et à L.J Brouwer (181-1966) mais sa reconnaissance ne date que des années 1970. L'auteur de référence pour notre travail est J-L. Le Moigne. Il a travaillé pour le développement et la transmission de l'épistémologie constructiviste.

Selon [Ben Ahmed, 2004], « *l'épistémologie constructiviste reconnaît le caractère relatif de la connaissance et sa dépendance de la construction du sens par les individus en se basant sur leurs expériences et leurs interactions avec leur environnement (contexte)* ». Il n'y a donc pas une représentation absolue, mais plutôt plusieurs qui sont dépendantes du contexte d'observation et du modélisateur.

A la manière de R. Descartes, J-L. Le Moigne propose « les quatre préceptes des épistémologies constructivistes » :

- **L'hypothèse phénoménologique** : il y a inséparabilité entre l'acte de connaître et la connaissance de soi. Ce n'est pas uniquement la connaissance sur le résultat qui compte, c'est aussi la connaissance sur la façon de l'obtenir.
- **L'hypothèse téléologique** : d'après [Le Moigne, 1999], l'hypothèse phénoménologique donne un rôle décisif au modélisateur dans la construction de la connaissance. Ses finalités de modélisation doivent donc être prises en compte dans son activité. Les connaissances construites ne sont pas absolues mais relatives aux finalités du modélisateur qui les construit.
- **Le principe de la modélisation systémique** : elle se différencie de la modélisation analytique par la prise en compte des finalités et des connaissances du modélisateur mais également par l'objectif de construire des modèles pour la compréhension et non pas uniquement pour la description.
- **Le principe d'action intelligente** : il décrit les processus itératifs et cognitifs mis en œuvre pour la construction de modèles. Il s'appuie sur la résorption de dissonances perçues entre les comportements des modèles et les finalités du modélisateur. Lorsque les modèles construits ne sont pas représentatifs de l'interaction des modélisateurs avec le phénomène modélisé, il faut alors les réviser.

En ce qui concerne le modélisateur, sa construction se réalise à travers son expérience de modélisation, il est en évolution permanente (voir Figure 5.2). La modélisation d'un même objet par un même modélisateur fournit donc des résultats différents au cours du temps. La citation de Th. Dobszhansky résume très bien cette notion : « *En changeant ce qu'il connaît du monde l'homme change le monde qu'il connaît. En changeant le monde dans lequel il vit, l'homme se change lui-même* ».

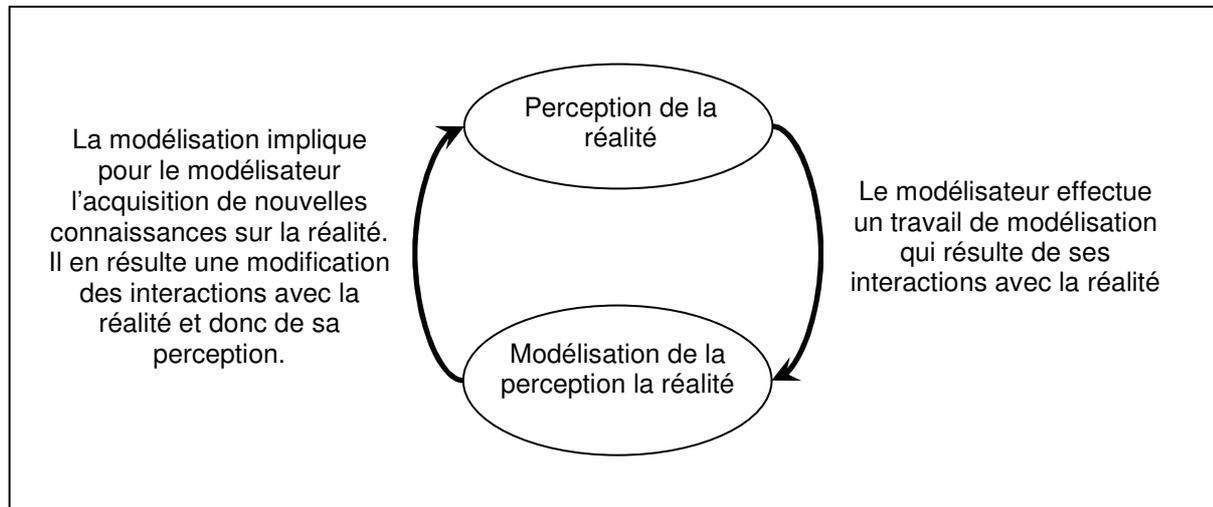


Figure 5.2 – Cercle décrivant la construction de l'évaluateur à partir de l'évolution de sa perception de la réalité

5.1.3. L'adoption d'une épistémologie selon Le Moigne

Afin de conduire nos raisonnements et nos échanges (communication), nous avons besoin de modèles (les systèmes de symboles) qui rendent intelligibles la réalité. La modélisation se pense à travers deux visions : la première postule la recherche de la vérité absolue grâce à l'utilisation de critères et principes méthodologiques et la seconde s'intéresse à la construction de modèles relatifs aux expériences, aux connaissances et aux finalités du modélisateur [Le Moigne, 2004]. Dans cette dernière, il s'agit de restaurer la modélisation pour la compréhension et non plus uniquement pour l'explication et la description.

Dans ses travaux sur la modélisation des systèmes complexes, Le Moigne propose un positionnement constructiviste basé sur les différentes réflexions d'auteurs comme P. Valéry, J. Piaget, G ; Bachelard, H.A. Simon et E. Morin. Le Moigne [Le Moigne, 1999], qui a œuvré à la formalisation de l'épistémologie constructiviste, définit la modélisation comme une « *Action d'élaboration et de construction intentionnelle, par composition de symboles, de modèles susceptibles de rendre intelligible un phénomène perçu complexe, et d'amplifier le raisonnement de l'acteur projetant une intervention délibérée au sein du phénomène ; raisonnement visant notamment à anticiper les conséquences de ces projets d'actions possibles* ». L'ensemble de nos travaux de recherche sont positionnés par rapport à cette définition de la modélisation.

Selon [Le Moigne, 1999], dans une épistémologie positiviste tout est donné, l'observateur ne fait qu'accéder à la réalité (« le mot positif désigne le réel », A. Comte cité par J-L. Le Moigne) par l'utilisation d'approches déterministes et en ayant une vision absolue de la connaissance. Cette vision de la modélisation n'est pas compatible avec la complexité qui impose l'imprévisibilité. Nous utilisons cependant cette épistémologie dans notre travail de recherche pour la modélisation de phénomènes simples ou compliqués. La modélisation de systèmes technologiques tels que l'ABS ou l'ESC est réalisée suivant une approche de décomposition en éléments simples.

5.2. Théorie générale des systèmes et systémique

Nous détaillons dans cette section la modélisation systémique. C'est une approche de modélisation qui est associée au constructivisme.

5.2.1. La notion de modèle

*« Marche, ce sont tes traces ce chemin, et rien de plus ;
Marcheur, il n'y a pas de chemin, Le chemin se construit en marchant.
En marchant se construit le chemin,
Et en regardant en arrière
On voit la sente que jamais on ne foulera à nouveau.
Marcheur, il n'y a pas de chemin, seulement des sillages sur la mer. »*

A. Machado, traduction de J. Parets-LLorca

Afin de montrer toute l'importance de la notion de modèle dans ce chapitre, nous citons P. Valéry pour qui « *Nous ne raisonnons que sur des modèles* » et « *Nous ne communiquons que par des modèles* ». La notion de modèle est donc primordiale et nous avons montré qu'elle est commune aux différentes épistémologies. Dans le cadre de la modélisation systémique, elle est associée au concept de construction, on parle alors d'invention et non pas de découverte (dévoiler un réel) [Le Moigne, 1987]. Il s'agit de construire des représentations intelligibles de la réalité perçue par lesquelles nous sommes amenés à raisonner et à communiquer. Cette construction de modèles et donc de connaissances passe par la construction d'une activité, pour construire la connaissance il faut une activité intentionnelle. « *Le réel est construit par l'acte de connaître plutôt que donné par la perception objective du monde* » [Le Moigne, 1999].

5.2.2. Notions historiques sur la systémique

Selon [Durand, 2006], le concept de système, qui est au cœur de la systémique, a émergé durant la seconde moitié du XX^e siècle. Sa définition a premièrement servi à spécifier la cybernétique³⁷. Par la suite, l'évolution de sa définition par l'ajout de nouvelles connaissances a permis l'émergence de la systémique.

³⁷ Cybernétique : « *Science et technique des systèmes capable d'autorégulation programmée grâce à des processus de réception et de traitement de l'information, et à des boucles de rétroaction. L'appareil de*

Nous présentons six auteurs qui ont contribué à la définition de la cybernétique et de la systémique :

- **N. Wiener** (1943) observe pendant son travail sur les systèmes de guidage des missiles que certaines anomalies observées sont similaires à des dérèglements chez l'homme. Ses observations l'amène à proposer une nouvelle science qui s'intéresse à l'étude des interactions des systèmes autorégulés : la cybernétique. Son apport concerne les aspects fonctionnels et dynamiques des systèmes à travers ses travaux sur la régulation et la communication.
- **W.S. McCulloch** était un neuropsychiatre qui s'est intéressé à l'ingénierie et aux mathématiques. Son travail (1943), qui traite des automates et des systèmes régulés, prend place dans le même mouvement de recherche initié par Wiener. Il est à l'origine des conférences Macy³⁸ (1942 à 1953) dans lesquelles la cybernétique a émergé et a été développé.
- **C. Shannon** (1949) propose « *la théorie mathématique de la communication* » qui a beaucoup été utilisée (et qui l'est encore) pour spécifier la communication entre les systèmes.
- **J.W. Forrester** (1961) est un pionnier en informatique et est à l'origine de la dynamique des systèmes. Son travail porte sur la simulation des interactions entre les éléments d'un système afin d'analyser les changements qui se produisent à l'intérieur d'un système. Il a construit de nouvelles connaissances sur les aspects génétiques (ou transformationnels) et fonctionnels des systèmes.
- **L. Von Bertalanffy** a formulé en premier « *la théorie du système général* » en 1968 [Bertalanffy, 1968]. Il propose dans cette démarche de considérer le système dans sa globalité en se focalisant sur ses relations internes et externes. A travers cette démarche, il propose une alternative à l'analytique pour l'étude des phénomènes complexes. Son apport sur la définition du concept de système concerne donc ses aspects structurels et fonctionnels. Il est considéré comme l'un des premiers fondateurs de la systémique.
- **R.L. Ackoff** a également œuvré dans la formalisation de l'approche systémique [Ackoff, 1971]. Son apport concerne la compréhension de la finalisation (en termes d'objectifs) des systèmes.

C'est donc dans les années 1940 à 1975, que l'on a assisté aux Etats-Unis à la caractérisation du concept de système qui a permis l'émergence de la systémique. En France, c'est surtout E. Morin et J-L. Le Moigne qui ont formalisé et développé le concept de système et la systémique en les abordant sous l'angle de la modélisation de la complexité.

« pilotage automatique des avions, le thermostat d'une chaudière ou le régulateur d'une centrale sont des machines cybernétiques » (définition proposée par l'Association pour la Pensée Complexe - www.mcxapc.org)

³⁸ Conférences regroupant des chercheurs de diverses disciplines (mathématiciens, logiciens, anthropologues, psychologues et économistes) dont l'objectif était l'étude des mécanismes dans les systèmes sociaux et biologiques.

A travers le monde, différentes organisations travaillent sur la systémique ainsi que sur des sujets liés à la cybernétique, en voici quelques unes : Modélisation de la Complexité (MCX animée par J-L. Le Moigne), Association Française de Science des Systèmes (AFSCET), Association Française d'Ingénierie des Systèmes (AFIS), System Dynamics Society, International Society for the Systems Sciences (ISSS) et United Kingdom Systems Society (UKSS).

5.2.3. La systémique

Le « système » est un élément clé de la systémique. Dans [Donnadieu *et al.*, 2003], deux définitions sont présentées : une définition « large » donnée par J. Lesourne : « *Un système est un ensemble d'éléments en interaction dynamique* » et une définition plus « étroite » donnée par J. Rosnay : « *un système est un ensemble d'éléments en interaction dynamique, organisé en fonction d'un but* ».

D'autres définitions sont proposées, on retiendra principalement les suivantes :

- Pour de Saussure, le système est « *une totalité organisée, faite d'éléments solidaires ne pouvant être définis que les uns par rapport aux autres en fonction de leur place dans cette totalité* ». La « place » des éléments fait à la fois référence à la position dans la structure mais aussi et surtout à leur rôle par rapport au fonctionnement global.
- Pour Von Bertalanffy, c'est un « *ensemble d'unités en interrelations mutuelles* ».
- Pour J. Ladrière, c'est un « *objet complexe, formé de composants distincts reliés entre eux par un certain nombre de relation* ». Les composants sont donc identifiables et donc modélisables.
- Et enfin, pour E. Morin c'est une « *unité globale organisée d'interrelations entre éléments, actions ou individus* ».

La synthèse de ces définitions permet de considérer un système comme un tout composé d'entités distinctes fonctionnant et communiquant entre elles. Les éléments et les interactions émergent, existent, fonctionnent, se transforment et disparaissent en fonction des finalités du système. Le système n'est pas isolé, il échange avec l'environnement qui est actif et changeant.

Nous pensons qu'il y a deux idées principales dans les définitions : la notion de composants (internes et externes) et la notion d'interactions (internes et externes). Un système est constitué d'entités qui interagissent entre elles et qui évoluent dans un environnement actif.

Afin de comprendre plus en détails la systémique, de nombreux concepts ont été défini pour caractériser les systèmes. On trouvera par exemple dans [Durand, 2006] et [Donnadieu, 2003] une description des concepts suivant : l'interaction, la globalité, l'organisation, l'information, la finalité, la rétroaction, l'ago-antagonisme, la causalité circulaire, la régulation, la variété, l'ouverture/fermeture, la boîte noire/blanche et synchronie/diachronie.

Nous présentons trois définitions de la systémique :

Définition 5.1 - La systémique par [Bertalanffy, 1968]. « *Le but de cette théorie générale était de dégager des principes explicatifs de l'univers considéré comme système à l'aide desquels on pourrait modéliser la réalité* ».

Définition 5.2 - La systémique par [Donnadieu, 2003]. « Nouvelle discipline qui regroupe les démarches théoriques pratiques et méthodologiques, relatives à l'étude de ce qui est reconnu comme trop complexe pour pouvoir être abordé de façon réductionniste, et qui pose des problèmes de frontières, de relations internes et externes, de structure, de lois ou de propriétés émergentes caractérisant le système comme tel, ou des problèmes de mode d'observation, de représentation, de modélisation ou de simulation d'une totalité complexe ».

Définition 5.3 - La systémique par [Le Moigne, 1999]. Il l'a défini comme la conjonction des deux procédures cybernétiques et structuralistes. Cette définition « propose de tenir pour inséparables le fonctionnement et la transformation d'un phénomène (procédure structuraliste), des environnements actifs dans lesquels il s'exerce et des projets par rapport auxquels il est identifiable ».

Nous utilisons ces trois définitions de la systémique dans notre travail de recherche. Elles sont complémentaires et proposent une description détaillée de la systémique en lien avec la complexité et comme approche de modélisation.

5.2.4. Opérationnalisation de la systémique

L'opérationnalisation est l'enjeu principal de la systémique (surtout en ingénierie) car c'est aussi une pratique. C'est en effet une approche pour l'appréhension de la complexité. Nous présentons les principales approches existantes.

Dans [Donnadieu, 2003] une démarche générale composée de 4 étapes est proposée. Elle est décomposée en « une observation du système par divers observateurs et sous divers aspects, analyse des interactions et des chaînes de régulation ; modélisation en tenant compte des enseignements issus de l'évolution du système ; simulation et confrontation à la réalité (expérimentation) pour obtenir un consensus ». Elle est accompagnée par trois outils de base tels que :

- **La triangulation systémique** : il s'agit d'observer un phénomène suivant trois aspects différents : l'aspect fonctionnel (ce que le système fait - l'axe fonctionnel), l'aspect structural (comment est composé le système - l'axe ontologique) l'aspect historique (ce que le système devient - l'axe génétique). Cet outil omet cependant la prise en compte des projets du phénomène étudié (axe téléologique).
- **Le découpage systémique** : il ne s'agit pas de décomposer pour chercher des composants élémentaires mais d'identifier des sous-systèmes qui interagissent entre eux et qui ont un rôle dans le fonctionnement global du système. La réalisation du découpage se fait en fonction des projets du modélisateur et de critères liés à la triangulation systémique.
- **L'analogie** : c'est un mode de raisonnement ancien pour lequel le positivisme ne considère que l'isomorphisme. Il existe cependant trois niveaux qui sont : la métaphore, l'homomorphisme et l'isomorphisme. Ces différents niveaux permettent la modélisation de

système complexe pour lesquels on ne peut pas raisonner par isomorphisme, il faut accepter le fait qu'un modèle peut être imparfait (plus simple que la réalité).

La seconde approche que nous présentons est celle développée par [Le Moigne, 1999]. Elle est organisée autour de la notion de *systemographie* et utilise le concept de « système général ». Il s'agit de construire « des modèles d'un phénomène perçu complexe en le représentant délibérément comme et par un système en général ». Cette procédure est décomposée en trois étapes (voir Figure 5.3) :

- **Le cadrage** : « construction de M par correspondance isomorphique avec un système général (concept détaillé par la suite). M est un méta modèle qui est utilisé pour guider l'observation de la réalité et la modélisation de la perception de la réalité ».
- **Le développement** : « documentation de M par correspondance homomorphique de M avec les traits perçus du phénomène ».
- **L'interprétation** : « simulation d'actions possibles sur M pour anticiper les conséquences éventuelles dans le phénomène ».

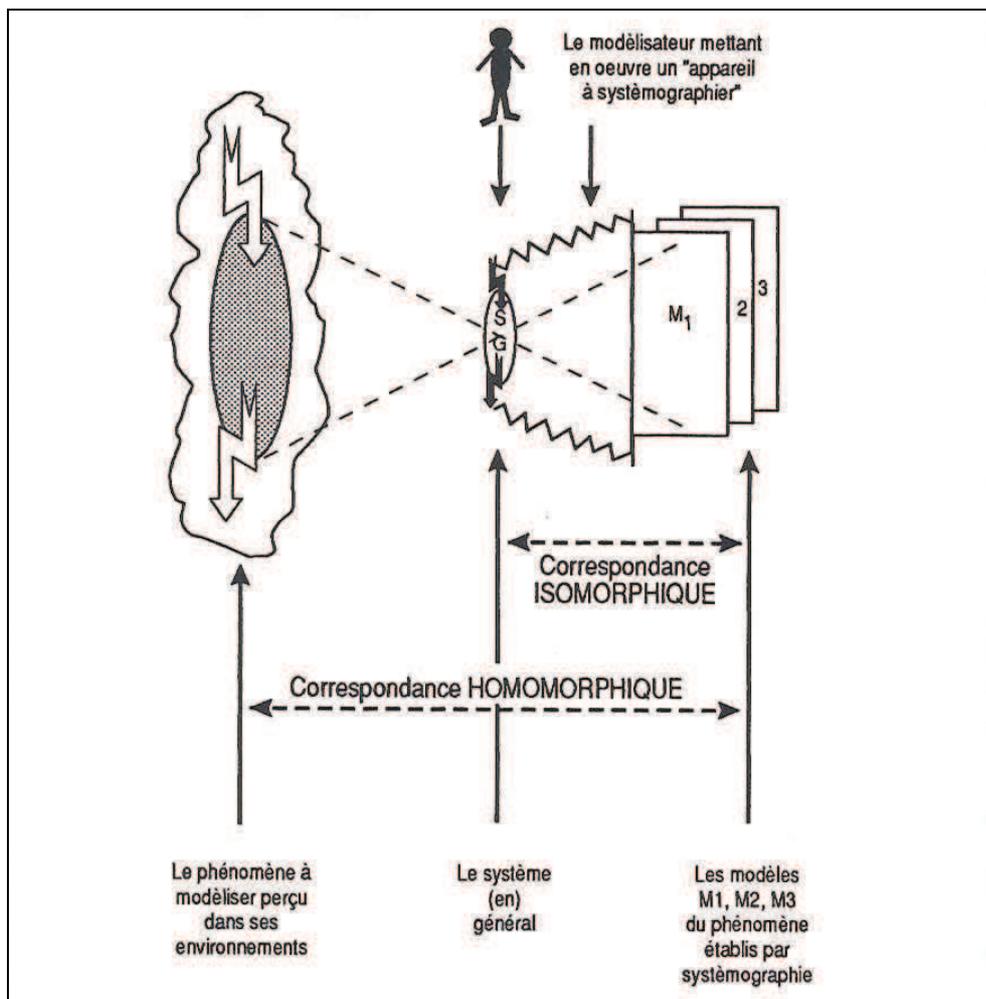


Figure 5.3 - la Systemographie, reproduction issue de [Le Moigne, 1999]

Le système général (SG) est utilisé pour cadrer le méta-modèle. Il repose sur des connaissances institutionnelles qui sont liées à des domaines ou des disciplines. Il décrit les bases

théoriques sur lesquels s'appuie la modélisation des systèmes. Son existence est donc primordiale pour rendre opérationnelle la systémographie.

Le Moigne propose deux modèles qui sont génériques et complémentaires et qui sont utilisés pour construire un système général. Le premier est la conjonction systémique et le second est le modèle O.I.D. (Opération, Information et Décision).

La conjonction systémique permet de définir le système général comme « *la représentation d'un phénomène actif perçu identifiable par ses projets dans un environnement actif, dans lequel il fonctionne et se transforme téléologiquement* ». C'est un modèle fondamental dans notre travail de recherche. Son utilisation implique de considérer les systèmes modélisés dans leur globalité. Pour chaque système que nous cherchons à modéliser, nous nous focalisons sur la recherche de connaissances sur (1) sa structure - **axe ontologique**, (2) son fonctionnement - **axe fonctionnel**, (3) sa transformation - **axe génétique ou transformationnel**) et (4) ses finalités - **axe téléologique** - par rapport à son environnement.

Le modèle O.I.D. décrit les systèmes complexes à l'aide de trois sous-systèmes (voir la Figure 5.4) :

- le système des Opérations.
- le système d'Information-mémorisation : pour fonctionner le système traite des informations instantanées mais aussi des informations mémorisées.
- le système de Décision : le système est capable de générer ses propres décisions par le traitement des informations, on considère ce sous-système comme autonome.

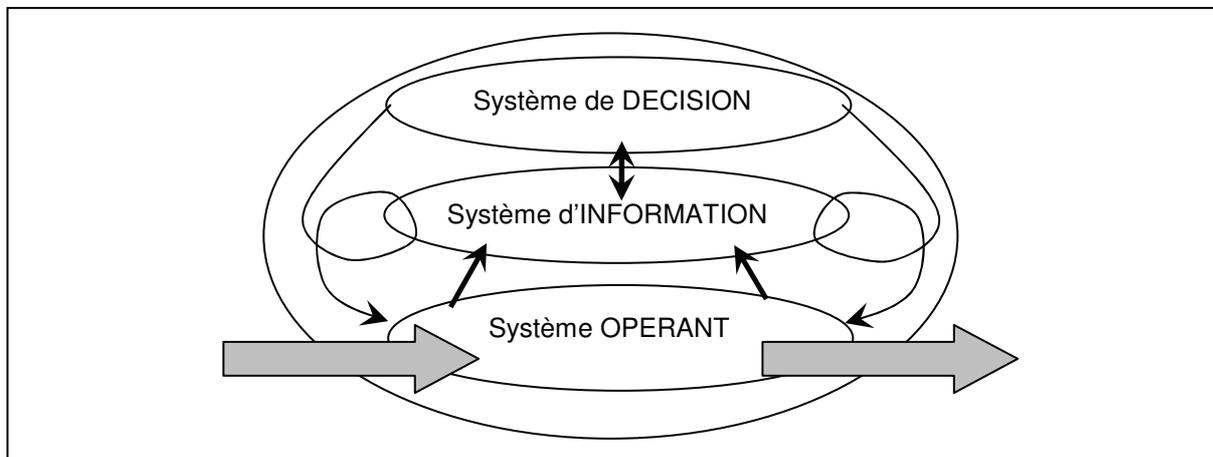


Figure 5.4 - Le modèle canonique du Système-organisation : Opération-information-Décision [Le Moigne, 1999]

On trouvera dans [Le Moigne, 1999] la présentation de modèles qui sont utilisés pour instrumenter les trois sous-systèmes du modèle OID (Système de Traitement d'Information de A. Newell et H.A. Simon, le modèle de l'organisation, les modèles de décision, etc.).

La modélisation de l'activité d'évaluation s'appuie sur l'utilisation de la systémographie. La notion de système générale nous permet de considérer à la fois les connaissances sur l'activité d'évaluation et celles pertinentes pour la prise en compte de la complexité. Son utilisation est détaillée dans le chapitre 8.

5.2.5. Positionnement par rapport à l'ingénierie système

La systémique est basée sur la notion de système, il ne faut cependant pas confondre avec l'ingénierie système qui est une approche plus large. En effet, l'ingénierie système est définie par INCOSE³⁹ comme un processus multidisciplinaire dont l'objectif est la satisfaction des besoins des clients et des parties prenantes. Ce processus est décrit à l'aide des 7 étapes suivantes (voir Figure 5.5) : énoncer le problème, enquêter sur les alternatives, modéliser le système, relier (faire fonctionner les éléments entre eux), lancer le système, évaluer les performances, et réévaluer (pour chaque étape). Par définition, la systémique peut être intégrée dans l'ingénierie système, elle prend place dans l'étape de modélisation du système.

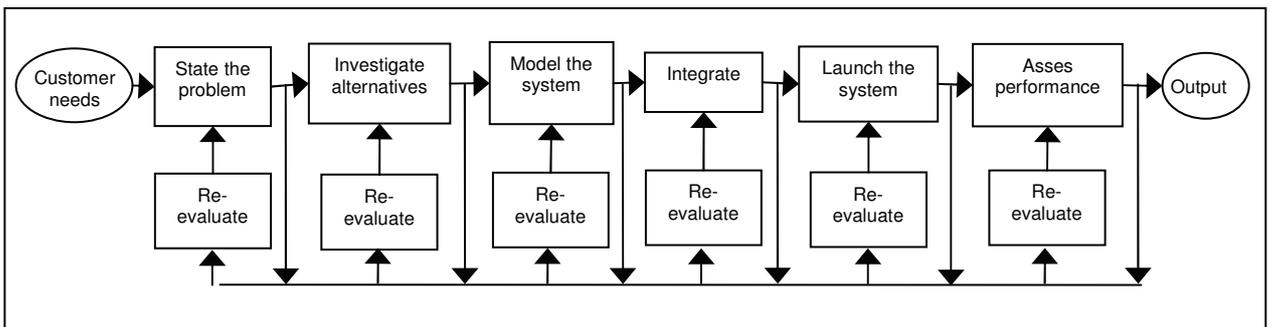


Figure 5.5 - Process d'ingénierie système, schéma issu de [Bahill and Gissing, 1998]

5.3. Validation des connaissances

La question sur la validité des connaissances est essentielle en épistémologie⁴⁰. Cette question est traitée de différentes façons en fonction de l'épistémologie considérée.

Dans l'épistémologie positiviste, le principe de raison suffisante propose de démontrer la « véracité » des connaissances à partir d'une logique déductive. On parle alors de démonstration au sens du logicien qui postule le principe de raison suffisante et le principe de modélisation analytique.

Dans l'épistémologie constructiviste, on ne parle plus de « *connaissances vraies* » mais plutôt de « *connaissances faisables* ». La construction de ces connaissances est basée sur l'utilisation du principe d'action intelligente. Il met en œuvre les ressources du raisonnement dialectique afin de construire ces connaissances, grâce à un système de symboles. Pour Le Moigne, elles sont faisables dès lors qu'elles sont reproductibles [Le Moigne, 1999], le modélisateur devra montrer qu'elles sont « *argumentées* » et donc à la fois constructibles et reproductibles.

Selon [Ben Ahmed, 2004], dans un paradigme constructiviste le modélisateur ne peut atteindre un niveau stable de connaissance à cause de l'évolution constante de sa perception et des changements de l'environnement. Le modélisateur décide de stopper le processus de modélisation lorsqu'il attend un état final de modélisation qui lui semble satisfaisant. Il propose donc une évaluation des connaissances et de modèles fondée sur la mesure de l'écart entre l'état cible et l'état final.

³⁹ INCOSE : International Council on Systems Engineering, voir <http://www.incose.org>

⁴⁰ Nous présentons également les réflexions sur l'évaluation des connaissances en ingénierie des connaissances dans le Chap.6.

L'évaluation est réalisée à partir de critères qui spécifient cet état cible. On trouvera dans [Ben Ahmed *et al.*, 2009] la liste de ces critères ainsi qu'une matrice d'interaction entre critères d'évaluation des modèles et des connaissances. Les critères d'évaluation des connaissances sont classés en 3 items : des critères objectifs, subjectifs et inter-subjectifs (voir Tableau 5.1). Les critères d'évaluation des modèles sont eux classés en fonction d'une approche systémique afin d'assurer leur complétude (voir Tableau 5.2).

Tableau 5.1 - Critères d'évaluation des connaissances [Ben Ahmed, 2009]

Critères objectifs	Invariance
	Distinctivité
	Contrôlabilité
Critères subjectifs	Utilité individuelle
	simplicité
	Cohérence
	Nouveauté
Critères inter-subjectifs	Publicité
	Expressivité
	Formalité
	Unité collective
	Autorité

Tableau 5.2 - Critère d'évaluation de modèles [Ben Ahmed, 2009]

Evaluation de l'ontologie	Formalisme de représentation	Consistance
		Auto-descriptivité
		Indépendance domaine
		Attractivité
		Complétude
		Conformité
		Interdépendance des composants
	Interface modèle/utilisateur	Utilisabilité
		Réutilisabilité
		Compréhensibilité
		Apprentissage
		Testabilité
		Opérabilité
		Evaluation du fonctionnement
Tolérance défaillance		
Stabilité		
Prédisposition à l'erreur		
Contrôlabilité		
Généralité		
Evaluation de l'évolutivité	Modifiabilité	Nouveauté
		Flexibilité
		Maintenabilité
		Extensibilité
	Adaptabilité	
	Remplaçabilité	
Evaluation de la téléologie	Précision	
	Efficacité	
	Effectivité	

Selon [Heylighen, 1993], la connaissance est vraie ou adéquate lorsqu'elle est sélectionnée. Le processus de sélection est réalisé à partir de la capacité de la connaissance à améliorer le contrôle sur les systèmes, on parle alors de principe sélectionniste.

Pour [Frey and Dym, 2006], l'évaluation de connaissances se réalise à travers trois méthodes ou approches : la robustesse des connaissances (faible sensibilité aux variations), la validation par l'axiome du vrai et la méthode multicritères basée sur la voix du consommateur.

[Reich, 1995] propose deux types d'évaluation qui sont fonction de la définition de la connaissance :

- La définition structurelle spécifie la connaissance comme tout ce qui est représenté – faits, modèles, etc. L'évaluation est alors basée sur la structure de la connaissance. Elle consiste par exemple à réaliser des évaluations expertes afin de vérifier la complétude et l'absence de conflits ou de redondance.
- La définition fonctionnelle spécifie la connaissance comme ce qui est nécessaire à un système pour atteindre ces objectifs (exemple des compétences). Le principe d'évaluation est alors basé sur la capacité dans l'exécution de la connaissance à atteindre les objectifs du système. Ce principe s'appuie sur le principe sélectionniste ou de rationalité : la connaissance est validée si elle permet la réalisation d'actions pour des objectifs.

Nous utilisons ces approches et définitions afin de construire notre vision de la validation des connaissances. Notre besoin concerne les connaissances qui constituent le modèle de l'activité d'évaluation. Leur validation est focalisée sur deux approches. La première concerne l'atteinte de notre objectif de recherche : les connaissances construites doivent améliorer le contrôle qu'ont les évaluateurs sur la réalisation des évaluations. Elles sont valides si elles permettent à l'évaluateur d'exécuter de bonnes évaluations. La seconde est décrite par le principe sélectionniste. Si les connaissances sont vraies, alors elles seront utilisées par les évaluateurs.

5.4. Synthèse et rappels

L'objectif de ce chapitre est de présenter les réflexions existantes qui traitent du statut de la connaissance, de sa construction et de sa validé en considérant la complexité des systèmes à modéliser. Cette présentation s'est principalement focalisée sur la description de deux épistémologies complémentaires : le positivisme et le constructivisme.

L'épistémologie positiviste considère que la connaissance est stable, absolue et qu'elle est la représentation d'une réalité existentielle indépendante de l'observateur. Elle se limite à la représentation de ce qui est observable. Dans le cas de l'épistémologie constructiviste, la connaissance est la représentation des interactions entre le modélisateur et la réalité perçue. La connaissance acquiert donc une vision relativiste : sa construction est dépendante du modélisateur et du contexte de modélisation. La complexité ne peut être considérée dans une épistémologie basée sur la stabilité et une vision absolue de la réalité (le positivisme). L'imprévisibilité et l'évolution ne peuvent être modélisées par l'utilisation de cette épistémologie. Le constructivisme est par contre adapté à la complexité.

Sur la question méthodologique, nous avons fait la distinction entre la modélisation analytique qui est associée au positivisme et la modélisation systémique qui est associée au constructivisme. La modélisation analytique, qui est basée sur les 4 préceptes de Descartes, propose de modéliser les systèmes en les décomposant en éléments simples, en considérant les relations de cause à effet (déterminisme), et en cherchant l'exhaustivité. La modélisation systémique considère les phénomènes complexes comme des systèmes qui existent, fonctionnent et se transforment dans un environnement actif en fonction de leurs projets. Cette vision est basée sur la conjonction de la procédure cybernétique (environnement actif et finalité) et de la procédure structuraliste (fonctionnement et transformation). Elle est également instrumentée par le modèle O.I.D. qui décrit l'intelligibilité du système modélisé. Ces connaissances sur le système et sur la systémique sont utilisées dans la systémographie. Elles définissent le concept de système général.

Notre travail de recherche consiste à cadrer l'activité d'évaluation dans l'environnement complexe de la sécurité routière. Afin de réaliser cette tâche nous utilisons un paradigme épistémologique basé à la fois sur le constructivisme et sur le positivisme. Le constructivisme apporte les connaissances nécessaires à la modélisation de la complexité alors que le positivisme est utilisé pour la modélisation des systèmes simples et compliqués.

D'un point de vue opérationnel, nous cherchons à construire un méta-modèle. Il a pour objectif d'aider les évaluateurs dans la modélisation des cas d'évaluation et la réalisation des évaluations. Sa construction repose sur la systémographie ainsi que sur les modèles que nous présentons dans le chapitre sur l'ingénierie des connaissances (voir chapitre 5).

Chapitre 6. Modélisation des connaissances et ingénierie de la connaissance

Pour sortir des habitudes des pratiques évaluatives, une réflexion sur la représentation de l'activité d'évaluation est nécessaire. Celle-ci vient en complément du travail qui a été effectué sur le paradigme évaluatif (voir Partie II). L'objectif étant de construire des modèles pour guider les évaluateurs dans la réalisation des évaluations. Nous cherchons à formaliser notre positionnement constructiviste de l'activité d'évaluation à travers un modèle général.

Les théories présentées dans le chapitre 5 abordent la modélisation en fonction de positionnements épistémologiques. Ces connaissances se limitent à des aspects théoriques de la modélisation alors que des connaissances opérationnelles sont également nécessaires. Ce chapitre 6 poursuit cet objectif en fournissant des connaissances sur l'ingénierie des connaissances.

Nous commençons ce chapitre par définir ce qu'est la connaissance. Cela est indispensable pour spécifier ce que nous cherchons à construire à travers la modélisation⁴¹. Ensuite, des méthodes de modélisation en ingénierie des connaissances sont détaillées. La première est dirigée par les connaissances expertes (approche ascendante). La seconde est dirigée par les modèles (approche descendante). Et la troisième est un mixte des deux autres. C'est cette dernière qui nous semble la plus pertinente par rapport à nos besoins. Enfin, la description de la mémoire de projet est réalisée. L'objectif est de fournir des connaissances pour la spécification de la capitalisation et la réutilisation des évaluations.

Les apports de ce chapitre pour notre travail sont synthétisés dans la Figure 6.1.

⁴¹ Nous avons déjà abordé de façon détaillée le statut et le rôle de la connaissance. Les définitions dans ce chapitre complètent les précédents et permettent de considérer d'autres théories utiles à la modélisation de l'activité d'évaluation.

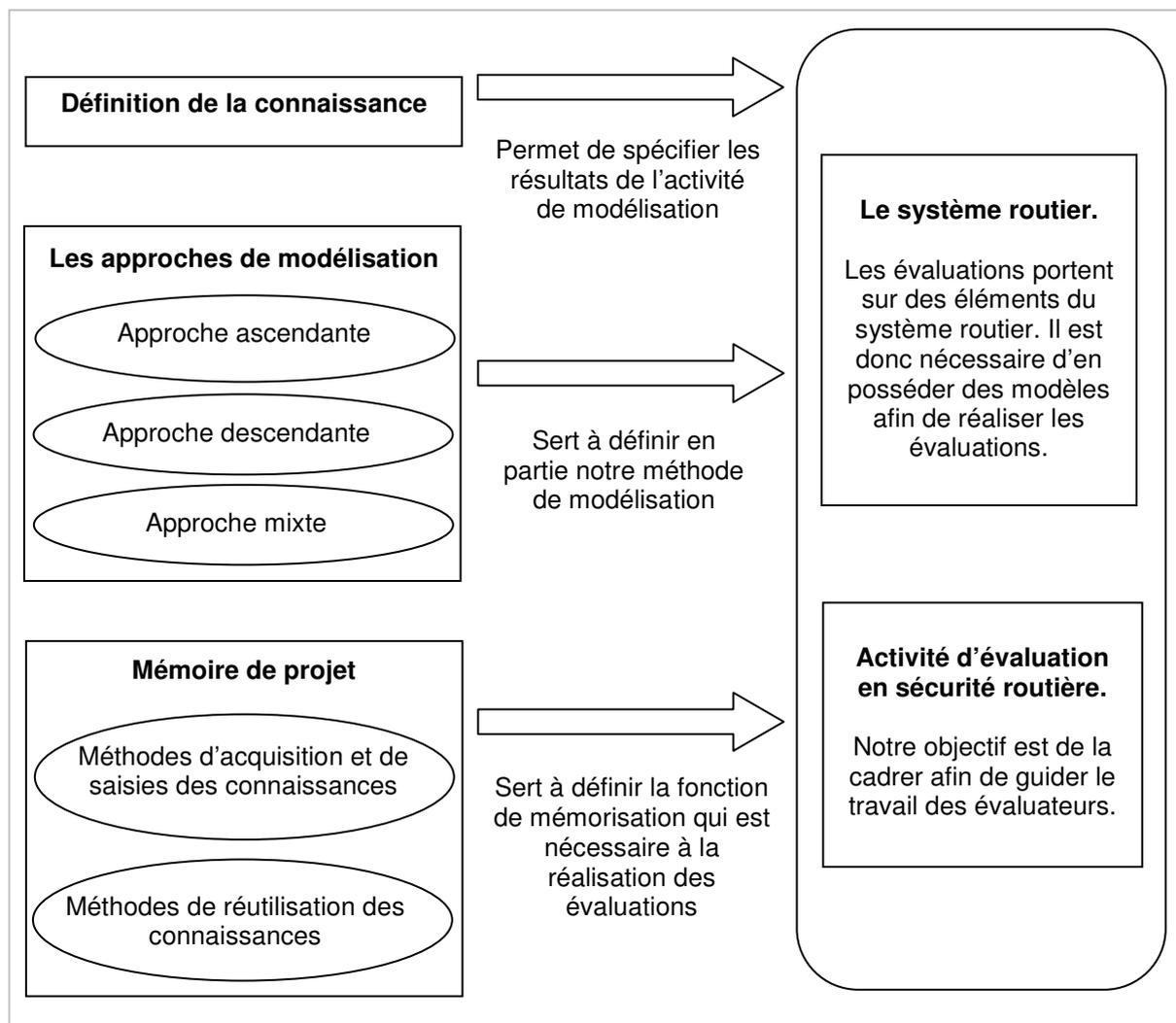


Figure 6.1 - Présentation des apports du chapitre 6

6.1. Définition de la connaissance

La connaissance a plusieurs définitions dans la littérature. [Ben Ahmed, 2004] considère que ces définitions sont complémentaires car elles traitent chacune un des axes de la systémique. En effet, les définitions concernent son ontologie (ce qu'est la connaissance), sa fonctionnalité (ce qu'elle fait), sa génétique (son histoire et ce qu'elle devient) et sa téléologie (ses projets ou finalités). La définition de la connaissance est la conjonction de plusieurs définitions qui se rapportent aux quatre axes.

D'un point de vue **ontologique**, la connaissance est à différencier de l'information [Nonaka *et al.*, 2000]. Une information sans contexte n'a pas de signification. Elle devient une connaissance lorsqu'elle est interprétée par l'humain en fonction de ses croyances et de son contexte. Selon [Ermine *et al.*, 1996], la connaissance a trois niveaux de formalisation qui forment le triangle sémiotique : syntaxique (manifestation - signe), sémantique (le sens - signification) et pragmatique (la désignation – le signifiant). Dans ce triangle, l'information ne représente qu'une projection des systèmes observés/modélisés sur les axes syntaxiques et pragmatiques (signe et forme).

[Nonaka, 2000] définit les connaissances explicites et tacites. Les connaissances explicites peuvent être exprimées grâce à l'utilisation d'un langage formel et être partagées car stockées sous forme de données, de formules scientifiques, de manuels, etc. Au contraire la connaissance tacite est personnelle (subjective) et est donc difficile à formaliser. Elle concerne par exemple les intuitions, les compétences innées, les savoirs faire ou encore les expériences. Cette catégorisation fait la distinction entre les connaissances collectives et les connaissances personnelles.

[Alavi and Leidner, 2001], proposent une classification étendue dans laquelle les connaissances explicites et tacites sont incluses. Ils considèrent les connaissances :

- individuelles : créées par et indissociables de l'individu,
- sociales : créées par et inhérentes aux actions collectives d'un groupe,
- déclaratives : (« Know-About »),
- procédurales : savoir faire (« Know-How »),
- causales : connaissances théoriques (« Know-Why »),
- conditionnelles (« Know-When »),
- relationnelles : connaissances sur les interactions (« Know-Whith »),
- pragmatiques : connaissances utiles pour une organisation.

D'un point de vue **fonctionnel**, la connaissance « associe des événements et des expériences qui, évoqués par des signaux externes, provoquent des processus de résolution de problèmes », Ballay cité dans [Ben Ahmed, 2004].

D'un point de vue **génétique**, la connaissance évolue de part la confrontation du modélisateur avec les phénomènes qu'il cherche à modéliser. Pour [Nonaka, 2000], la connaissance est créée par l'action et l'interaction. Il n'y a pas de processus automatique qui génère de la connaissance. Un de ses objectifs de recherche est justement de comprendre les processus dynamiques à partir desquels les organisations créent, maintiennent et exploitent les connaissances.

Enfin, d'un point de vue **téléologique**, la connaissance fournit les éléments nécessaires à la réalisation des activités. Les finalités de la connaissance sont donc directement liées aux différentes fonctionnalités qui lui sont associées.

Nous synthétisons ces différents points : *La connaissance est une information prise dans un contexte qui est interprétée par un humain en fonction de ses croyances et de son expérience. Elle est utilisée par le sujet connaissant pour la réalisation de ses activités. Enfin, elle est créée et évolue par apprentissage, par identification ou par construction.*

6.2. L'Ingénierie des connaissances (IC)

Définition 6.1 - Ingénierie des Connaissances (reprise de l'appel à communication de la conférence IC'2009⁴²) : « L'ingénierie des connaissances permet de modéliser et d'acquérir des connaissances dans un but d'opérationnalisation et de gestion. Elle propose des outils et méthodes pour les systèmes d'inscription, d'organisation, de diffusion et d'exploitation des connaissances au sens large. Les modèles de l'ingénierie des connaissances capturent des connaissances métiers, les processus cognitifs, les processus de coopération et les savoir-faire».

L'ingénierie des connaissances est une discipline récente qui a émergé des travaux réalisés dans le domaine de l'intelligence artificielle. Elle est issue d'une réflexion sur la modélisation des connaissances et des processus cognitifs des humains en situation réelle⁴³. En France, cet axe de recherche s'est d'abord intitulé « *acquisition de connaissances* » pour ensuite devenir « *ingénierie des connaissances* ». A un niveau européen ou nord-américain, on utilise « *knowledge acquisition* » ou « *knowledge engineering* » [Teulier et al., 2005]. Cette évolution de l'acquisition des connaissances à l'ingénierie des connaissances s'explique par une focalisation grandissante sur les outils et méthodes reproductibles pour l'acquisition et l'utilisation des connaissances [Charlet, 2002].

Selon [Charlet, 2002], l'ingénierie des connaissances se situe au carrefour de plusieurs réflexions telles que la formulation linguistique des connaissances ou encore la psychologie pour l'élaboration de méthodes d'élicitation de connaissances. Ces différentes réflexions sont mobilisées afin de spécifier les concepts qui définissent le paradigme de l'ingénierie de la connaissance : la connaissance, le Systèmes à Base de Connaissances (SBC) et le Système d'Information (SI). La connaissance est caractérisée par les concepts d'interprétation par l'utilisateur, de support technique pour sa mémorisation et sa genèse, et enfin la prise en compte de l'explicitation du contexte d'utilisation (voir section sur l'épistémologie et sur la définition de la connaissance). Les SBC sont définis « *comme des systèmes sémiotiques de manipulation d'inscriptions symboliques, dont le fonctionnement informatique doit permettre à un utilisateur d'interpréter et de comprendre le système dans le cadre de son activité et de ses usages, en utilisant les termes du domaine* » [Charlet, 2002]. La description du SBC fournit un point de vue opérationnel sur l'ingénierie des connaissances.

A partir des définitions précédentes, nous estimons que l'IC se décompose en deux activités principales : (1) la mise en œuvre d'une démarche d'ingénierie pour construire des artefacts informatiques – le SBC – par lesquels nous cherchons à modéliser des connaissances destinées à être interprété par un utilisateur (construction des modèles conceptuels) et (2) d'explicitier le fonctionnement cognitif de l'utilisateur en interaction avec le SBC (construction des modèles opérationnels).

⁴² 20^{ièmes} Journées Francophones d'Ingénierie des Connaissances

⁴³ Il s'agit par exemple des situations de conception ou de résolution de problèmes.

La première activité consiste à modéliser les concepts utilisés par les évaluateurs ainsi que les tâches à réaliser pour exécuter une évaluation. La seconde consiste à identifier un langage qui rend possible l'utilisation des modèles de l'évaluation par les évaluateurs. Nous décrivons par la suite les méthodes utilisées pour réaliser ces deux activités.

6.3. Les méthodes de modélisation des connaissances

De part la complexité des systèmes à modéliser ainsi que la diversité des points de vue, la modélisation est décrite comme une activité complexe. La définition, qui est issue du paradigme systémique, permet de rendre compte de cette complexité. A partir de la définition de la modélisation fournie par Le Moigne (cf. chapitre 5), [Ben Ahmed, 2004] propose sa propre définition que nous utilisons :

Définition 6.2 - Modélisation des connaissances : « *C'est un processus de construction intentionnelle (résoudre des problèmes), à partir d'expérience (savoir-faire), informations et savoir, de modèles susceptibles de rendre intelligible (ayant un sens dans un contexte donné) cette connaissance, et d'amplifier le raisonnement de l'acteur projetant une intervention délibérée sur elle pour résoudre des problèmes* ».

La modélisation des connaissances est une tâche centrale en ingénierie des connaissances. Elle consiste à définir les **modèles conceptuels et opérationnels**. Ces deux types de modèles sont une adaptation des travaux de [Newell, 1981]. Pour lui les connaissances sont à différencier de leur opérationnalisation. Il définit la notion de « *niveau des connaissances* » qui permet de décrire un système observé sans considérer son implémentation. Le **modèle conceptuel** est constitué de connaissances du domaine (le savoir) et de connaissances de raisonnement (le savoir faire – tâches et méthodes) [Trichet *et al.*, 2000]. Sa conception consiste à développer le SBC. Les **modèles opérationnels** ont pour objectif de mettre en place une structure pour l'utilisation des connaissances du modèle conceptuel. Ces modèles servent à rendre opérationnel le SBC.

Nous utilisons cette structuration pour la modélisation de l'activité d'évaluation. Les modèles conceptuels que nous proposons sont un ensemble structuré de concepts et de tâches pertinentes pour la réalisation des évaluations. Ce sont par exemple la description des parties prenantes, des indicateurs, des problèmes d'évaluation, ainsi que les méthodes et outils pour la génération des indicateurs. Les modèles opérationnels fournissent une formulation opérationnelle de ces modèles de façon à ce qu'ils soient utilisables par les évaluateurs.

6.3.1. Construction du modèle conceptuel du domaine

Selon [Charlet, 2002], « *les connaissances du domaine d'un SBC sont les connaissances relatives au domaine de l'application et nécessaires pour que les méthodes de raisonnement puissent s'exécuter* ». C'est à partir des années 80 que ce travail de modélisation a pris de l'importance et que le concept « *d'ontologie* » (« *ensemble des objets reconnus comme existant dans le domaine* ») est apparu.

On distingue deux approches de modélisations : ascendante et descendante.

L'approche ascendante est une approche dirigée par les données dans laquelle la conceptualisation est précédée de l'élicitation des connaissances expertes. La méthode K.O.D.(Knowledge Oriented Design) [Vogel, 1991] est une aide à l'activité d'acquisition des connaissances. Elle propose dans un premier temps d'identifier les dictionnaires à partir de l'étude des entretiens des experts ou plus globalement des gens qui savent. Elle consiste ensuite à construire l'ossature de la base de connaissances. [Bekhti and Matta, 2002] présente deux techniques : une qui est basée sur les techniques classiques de l'ingénierie des connaissances (interviews et recueil de documents) et une autre qui aborde l'extraction des connaissances à partir des activités – extraction directe (analyse statistique ou encore analyse linguistique des documents utilisés pendant la conception). Ce type d'approche ascendante laisse une grande liberté d'expression aux modélisateurs. Leur perception est prise en compte dans la modélisation. Néanmoins son mode opératoire impose des moyens non négligeables et son manque de généralité entraîne des difficultés dans la réutilisation.

L'approche descendante consiste à identifier et à utiliser des modèles génériques que l'on adapte ou que l'on assemble directement avec d'autres. C'est une approche dirigée par les modèles. La méthode KADS (Knowledge Acquisition and Documentation Structuring) est une méthodologie de développement de SBC basée sur une phase d'analyse et une phase de conception [Wielinga *et al.*, 1992], [Martin, 1994] et [Dieng, 1990]. Les données issues de la phase d'analyse servent à la phase de conception pour la spécification de l'architecture fonctionnelle du SBC. KADS est dirigée par les modèles qui sont des représentations intermédiaires orientées par l'expertise. Ces modèles sont des étapes dans le processus de construction du SBC. KADS offre un langage de modélisation, une bibliothèque de tâches génériques, un module de conception qui guide la construction de l'architecture du modèle conceptuel, et enfin un module de modalités qui décrit les interactions entre le SBC et les utilisateurs. Ce type d'approche permet donc de guider l'acquisition des connaissances grâce à l'utilisation de modules génériques, néanmoins la construction de ces modules ou leur adaptation sont des points sensibles de ces approches.

Il existe également des **approches mixtes** de modélisation qui sont une conjonction d'approches ascendantes et descendantes. C'est par exemple l'utilisation d'une approche ascendante en ayant à l'esprit un modèle générique de haut niveau (approche descendante) pour guider l'analyse des données brutes. Le modélisateur possède des modèles théoriques qui le guident dans la réalisation de son activité.

C'est ce dernier type d'approche que nous adoptons pour la modélisation de l'activité d'évaluation. Nous utilisons (1) les modèles théoriques issus de l'étude de l'activité d'évaluation et de la modélisation systémique et (2) les connaissances expertes issues de l'étude des pratiques et des besoins par rapport à l'évaluation. Les connaissances expertes sont issues de l'analyse des pratiques de l'évaluation en sécurité routière ainsi que des séances de travail que nous avons réalisées avec des parties prenantes impliquées dans l'évaluation et/ou la sécurité routière (voir chapitre 8 pour plus de détails).

La construction du modèle conceptuel est similaire à la conception du méta-modèle dans la systémographie (voir chapitre 5). Ces deux notions sont similaires dans notre travail de recherche.

6.3.2. Opérationnalisation des modèles de connaissances

Il existe différents langages qui structurent l'utilisation des SBC en fonction des utilisateurs. On a ainsi des langages de modélisation, de représentation ou d'utilisation des connaissances. [Charlet, 2002] propose également de présenter ces langages en fonction de leurs finalités, il distingue les motivations suivantes : simuler, valider le modèle conceptuel, formaliser le modèle conceptuel ou encore coder directement le modèle opérationnel.

Afin de fournir un modèle de l'évaluation, nous cherchons un langage adapté à la modélisation, la représentation et l'utilisation des connaissances. Son objectif principal est de formaliser le modèle conceptuel et de le rendre opérationnel.

Nous utilisons le langage UML de modélisation. C'est un langage qui est utilisé à la fois pour représenter le modèle conceptuel (diagrammes de classes) et pour les définitions des modèles opérationnels (diagrammes de cas d'utilisation, d'activités et de séquences). Nous détaillons son utilisation dans le chapitre 8.

6.4. La validation des modèles de connaissances

La question de la validation et de l'évaluation des connaissances a déjà été en partie abordée dans le chapitre sur l'épistémologie (cf. chapitre 5). Nous proposons ici les approches et outils utilisés dans le domaine de l'ingénierie des connaissances.

En IC, la validation des résultats proposés est une question régulièrement abordée, car utile pour prouver le caractère scientifique des propositions. Elle reste cependant difficile à formaliser [Aussenac-Gilles, 2005]. La question de la validation impose de poser les questions sur la nature des résultats à évaluer, la pertinence des résultats ou encore sur les méthodes d'évaluation.

Pour la communauté en IC, il y a une distinction entre l'évaluation et la validation [Aussenac-Gilles, 2005]. La **validation** porte sur l'adéquation entre la proposition conceptuelle du modèle et les connaissances des experts du domaine. On cherche à valider si le modèle conceptuel correspond à la réalité. En ce qui concerne l'**évaluation** en IC, elle se rapproche des méthodes en génie logiciel. On vérifie si le modèle construit satisfait le cahier des charges (les besoins) établi au début du projet.

Notre approche de modélisation mixte nous permet la validation du modèle conceptuel. Le fait d'utiliser les connaissances expertes issues des pratiques des évaluateurs conduit à l'adéquation entre le modèle conceptuel et la réalité des pratiques évaluatives. L'évaluation du modèle est quand à elle réalisée par le traitement d'exemples. Cela permet tout au long du processus de modélisation de mesurer l'atteinte des objectifs (ceux que nous avons exposés au début du mémoire).

6.5. Mémoire de projet

Nous avons présenté dans le chapitre sur la modélisation systémique un modèle générique dans lequel l'activité de mémorisation est présente (cf. le modèle OID dans 5.2.4). Elle permet la capitalisation de connaissances pour la réflexion et la communication. En ce qui concerne l'activité de conception, le concepteur s'inspire des expériences passées pour réaliser ces tâches. Il a aussi besoin de comprendre comment les solutions ont pu être retenues ou rejetées (explicitation du processus de décision) [Matta *et al.*, 1999] et [Longueville *et al.*, 2003]. La mémorisation concerne donc à la fois les résultats et les processus (activités et prises de décision par exemple).

En ingénierie de la connaissance, la mémorisation est traitée par la construction de mémoires de projet. Ces sont des systèmes de gestion de connaissances pour lesquels les processus de décision sont centraux. Ils ont pour finalités le partage d'expériences pour l'aide à la conception, l'évitement des erreurs passées ou encore la mémorisation des processus de décision en projet.

Selon Gardoni, cité dans [Longueville, 2003], la connaissance projet diffère de la connaissance technique par la prise en compte du contexte. Il s'agit de mémoriser une information par rapport à un contexte projet spécifique. Matta propose de caractériser les connaissances de projet en lien avec l'ensemble des activités réalisées durant un projet. La connaissance est issue de ces activités (décisions sur les processus, l'organisation, etc.) [Matta, 1999]. Il propose également de définir la connaissance de projet comme « *l'ensemble des connaissances acquises et produites au cours de la réalisation des projets* ». A partir de cette première définition, il propose de définir la mémoire de projet comme « *une représentation explicite des connaissances et des informations acquises et produites au cours de la réalisation des projets* ». Ces informations sont issues de diverses sources dans l'entreprise (gestion, marketing, qualité, mécanique, etc.).

[Eynard *et al.*, 2001] s'inspire des travaux de Dieng afin de définir le processus de capitalisation des connaissances (définition d'une mémoire de projet) à partir des étapes suivantes : le recueil et la modélisation des connaissances, la diffusion et l'utilisation de la mémoire, et enfin l'évaluation et l'évolution de la mémoire.

[Longueville, 2003] (p108) distingue deux approches pour la constitution des mémoires de projet : une qui porte sur la « *traçabilité de l'activité projet* » et sur les processus de formalisation de connaissances, et une autre qui aborde la collaboration au sein des projets par la construction d'outils informatiques ou par la réalisation de recherches en ergonomie cognitive. La première approche est celle qui nous semble la plus développée. Les méthodes existantes ont pour objectif de modéliser la logique de conception dans un projet. Elles sont classifiées en deux catégories : les méthodes qui portent sur la représentation de la prise de décision et celles qui portent sur la représentation de la dynamique de résolution de problème [Bekhti *et al.*, 2001]. La première catégorie consiste principalement à aborder la mémoire de projet comme une représentation des processus de prise de décision (« *la traçabilité* »). Cette approche est basée sur le « *design rationale* » qui est défini comme « *l'explication des raisons pour lesquelles un artefact est conçu tel qu'il est* » (Lee cité dans [Regli *et al.*, 2000]). Cela concerne en particulier la connaissance des décisions prises lors de la conception, les raisons et *les compromis qui les justifient* » [Longueville, 2003] (p76). La deuxième approche offre

une vision plus générale en considérant l'ensemble du processus de résolution de problème. Matta a développé un modèle de mémoire de projet en conception qui utilise les « *traces des projets passés* » [Matta, 1999]. Ce modèle distingue la mémoire des caractéristiques de projet (contexte, organisation et résultats) et la mémoire de la logique de conception (définition et résolution des problèmes, évaluation des solutions et décisions).

[Matta *et al.*, 2002] propose une structure de mémoire de projet qui organise les connaissances de la façon suivante :

- L'organisation du projet : les participants (compétences, rôles dans le projet et les relations) et les processus (organisation des tâches, contraintes et les exigences). Le Modèle GRAI⁴⁴ est utilisé afin de modéliser les processus,
- L'environnement du projet : les objectifs, les règles, les méthodes, les outils et les techniques,
- La réalisation du projet : « *design rationale* » et la description du produit. La représentation des connaissances se fait par la description du problème, des éléments pour la résolution, des évaluations et des décisions. On trouvera dans [Matta *et al.*, 2000] une présentation de méthodes telles que IBIS, QOC, DRAMA, etc. qui sont utilisées pour la capitalisation des connaissances sur la résolution de problème.

Le travail de mise en place d'une mémoire de projet se focalise principalement sur les modes d'acquisition et de saisies des connaissances ainsi que de leur restitution aux concepteurs. Ce travail consiste à développer des méthodes pour la capitalisation des connaissances explicites mais aussi tacites, de construire des outils informatiques pour l'acquisition, la saisie et la restitution des informations. L'ensemble de ces outils et méthodes doivent avoir une utilisation transparente pour le concepteur afin de garantir au maximum leur utilisation dans les tâches routinières [Matta, 2002].

Nous estimons que la réalisation des études d'évaluation s'effectue sur la base d'un fonctionnement en projet. Cette structure permet de répondre aux exigences de coordination et de réactivité afin de réaliser une évaluation. Cependant, la réalisation des projets implique aussi la notion de démantèlement. En effet, à la fin d'un projet l'équipe se sépare et seuls les résultats subsistent. La plupart des connaissances associées à la réalisation du projet disparaissent. L'intérêt de la mémoire de projet réside justement dans sa capacité à capitaliser et à retransmettre les informations issues de la réalisation des évaluations. Elles aident les évaluateurs dans la réalisation des évaluations.

La construction d'une mémoire de projet est directement intégrée dans notre travail de modélisation. Premièrement, l'opérationnalisation du modèle conceptuel permet la mémorisation des informations décrivant une évaluation. Secondement, des tâches sont définies afin d'identifier les informations réutilisables. C'est par exemple identifier un ou plusieurs indicateurs déjà utilisés dans des problèmes d'évaluation et des parties prenantes similaires au cas traité.

⁴⁴ GRAI : « *Graphes à Résultats et Activités Interreliées* ».

6.6. Synthèse et rappels

Ce chapitre est consacré à un état de l'art sur l'Ingénierie des connaissances en abordant les notions suivantes : définitions et typologies de la connaissance, modélisation, validation, et mémorisation. Il fournit les connaissances opérationnelles nécessaires à la construction d'un modèle général de l'activité d'évaluation.

Nous commençons par présenter les notions permettant de construire une définition systémique de la connaissance. Ces notions sont positionnées en fonction des axes : ontologique, fonctionnel, génétique et téléologique. Nous nous positionnons dans une vision de la connaissance où la prise en compte du contexte et des points de vue est primordiale.

L'ingénierie des connaissances est une discipline qui a pour objectif de fournir des concepts, méthodes et outils qui permettent d'acquérir de la connaissance et de l'utiliser. L'IC est considérée dans une démarche d'ingénierie de construction d'artefacts informatiques – SBC – pour modéliser des connaissances destinées à des utilisateurs.

La modélisation des connaissances, qui est donc un des aspects de l'IC, est spécifiée suivant trois types d'approche : les méthodes dites ascendantes ou dirigées par les données, les méthodes descendantes ou dirigées par les modèles, et enfin les méthodes mixtes. L'approche ascendante laisse une plus grande liberté d'expression aux experts et elle permet la retranscription de leur point de vue. Elle est cependant plus coûteuse en ressources et est plus difficilement généralisable de part sa subjectivité. L'approche descendante permet la réutilisation de modèles génériques qui guident l'activité de modélisation. Néanmoins, la conception de ces modèles génériques et leur adaptation sont des tâches difficiles. Les approches mixtes sont des conjonctions d'approches ascendantes et descendantes. C'est ce dernier type d'approche que nous utilisons pour la modélisation de l'activité d'évaluation. Le dernier point abordé sur la modélisation des connaissances concerne l'opérationnalisation des modèles. Cela concerne l'utilisation de langages pour la représentation et l'utilisation des connaissances. Nous choisissons le langage UML pour décrire le modèle conceptuel ainsi que pour décrire les processus de constructions des modèles et d'utilisation des connaissances (exemple de la génération des indicateurs).

La validation des connaissances est une activité complexe qui a principalement été abordée par l'utilisation de critères et d'évaluation experte. On trouve dans [\[Ben Ahmed, 2004\]](#) deux listes de critères qui concernent l'évaluation des connaissances ainsi que des modèles. Cette dernière est considérée dans un paradigme systémique car l'évaluation des modèles concerne les quatre axes systémiques.

Enfin, la mémoire de projet est un domaine de réflexion qui permet de comprendre l'autonomie des systèmes complexes. Les approches les plus développées concernent la modélisation et la mémorisation de la logique de conception en considérant soit les processus de prise de décision ou alors le dynamique de résolution de problème. Ces connaissances sur la mémoire de projet sont utilisées dans notre cadre de l'évaluation afin de faciliter les tâches de l'évaluateur. La construction d'une mémoire de projet en évaluation est par exemple utile dans l'identification d'indicateurs réutilisables.

Chapitre 7. Les théories de la conception

Dans ce chapitre, notre objectif est de chercher une approche de conception qui soit adaptée à la génération de nouveaux indicateurs pertinents par rapport aux attentes des parties prenantes. L'approche de conception vient en complément de celle de réutilisation des indicateurs déjà existants et celle de conception par composition des indicateurs⁴⁵.

La description de l'activité de conception fournit aux évaluateurs les bases théoriques pour l'utilisation de notre proposition globale. La caractérisation de l'activité de conception fournit également les critères que nous utilisons pour justifier la théorie de conception qui correspond à nos besoins : la théorie C-K.

Les apports de ce chapitre par rapport à notre travail sont synthétisés dans la Figure 7.1.

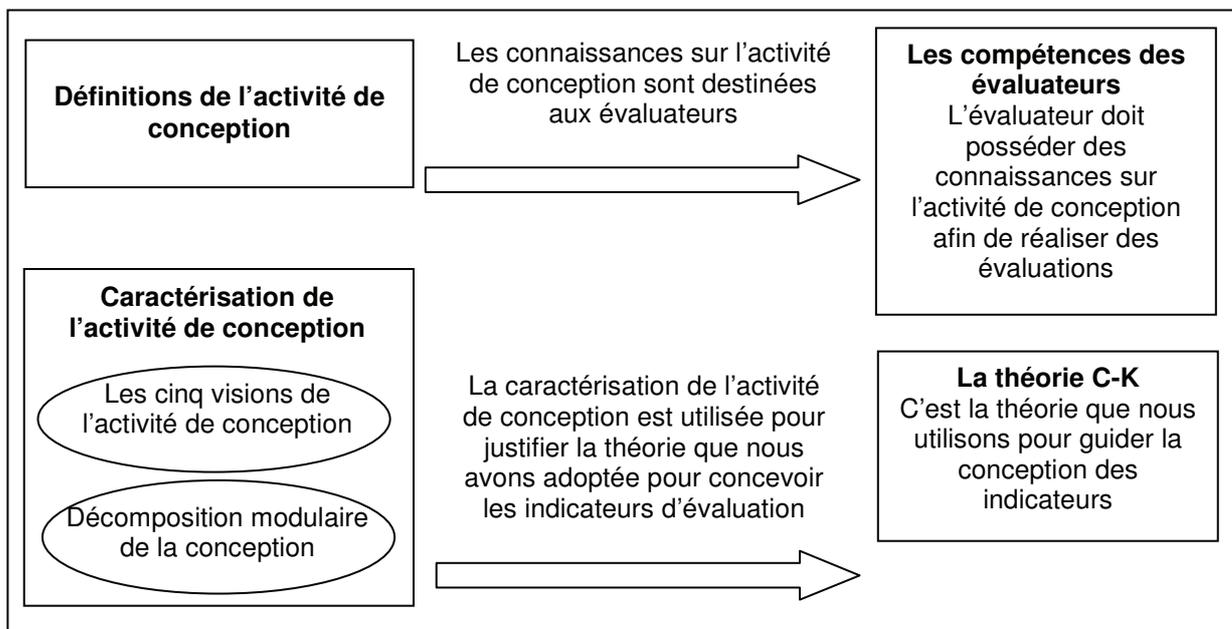


Figure 7.1 - Synthèse des apports du chapitre 7 par rapport à notre travail de recherche

7.1. Définition de l'activité de conception

Les définitions de la conception ont été développées dans des contextes de conception de produit, de biens et de services. Il est néanmoins possible de les considérer pour la conception des indicateurs.

Malgré la nécessité que représente l'activité de conception pour les entreprises, [Boldrini, 2005] rappelle que son étude et sa formalisation sont assez récentes. Cela s'explique en partie par le

⁴⁵ Cette méthode est détaillée dans le chapitre 12. Elle est basée sur une vision déterministe de la conception.

fait que la conception n'est toujours pas considérée « *comme un travail authentique ni haussée au rang d'une activité productive* ». La conception reste dissociée de la réalisation. Cette caractéristique issue de la civilisation technicienne indique qu'il y a séparation entre la pensée et l'exécution. De part la volonté de gagner en efficacité et en contrôle, la formalisation de l'activité de conception s'est orientée vers une approche processus. La conception est dans ce cas principalement spécifiée comme une séquence de tâches à réaliser par le concepteur. Ces tâches ont pour objectif de répondre à la réalisation d'une partie du projet global final. [Gorti *et al.*, 1998] propose par exemple de définir l'activité de conception comme un processus basé sur l'utilisation d'objets (dans le sens informatique du terme) et d'opérateurs. Il s'agit alors de définir l'ensemble des éléments caractérisant les connaissances permettant la réalisation de la conception.

Cependant, selon [Lawson *et al.*, 2003] il apparaît comme nécessaire d'associer à ces processus une pensée créatrice (« *design thinking* ») afin de les soutenir. La simple utilisation de processus absolus ne peut expliquer la conception de produits innovants, il y a un besoin de sensibilisation ou de formation à une pensée basée sur les processus cognitifs de créativité et d'apprentissage par l'expérience.

En fonction des connaissances et des besoins, la formalisation de l'activité de conception peut donc prendre plusieurs formes. Certaines formalisations se résument à des processus de résolution de problème (modèle absolu) et d'autres à de la conception (création), sachant que les deux ne sont pas incompatibles. [Altshuller, 1999] a par exemple mis en évidence 5 degrés d'inventivité qui vont de la solution apparente à la découverte. Pour chacun de ces degrés, l'activité de conception a des besoins variés en termes de méthodes. La recherche de solutions apparentes nécessite uniquement des méthodes déterministes alors que la découverte requière en plus une approche cognitive de la conception.

Nous nous intéressons maintenant à des définitions de la conception qui sont focalisées sur l'innovation/créativité. Pour [Forest *et al.*, 1997], « *Parler d'innovation évoque l'idée de l'introduction d'une nouveauté, radicale ou marginale, dans un système social, technique ou scientifique, donné [...].* ». Cette première définition insiste sur le caractère nouveau de l'innovation. La norme AFNOR [NF X 50 127] spécifie la conception comme « *une activité créatrice, qui partant des besoins exprimés et des connaissances existantes aboutit à la définition d'un produit satisfaisant ces besoins et industriellement réalisable* ». Cette norme présente la conception comme une activité, c'est-à-dire qu'elle nécessite une conduite humaine particulière qui repose sur un plan d'actions, des ressources cognitives et des outils afin de répondre à un problème. Pour [Simon, 1992], « *concevoir, c'est chercher ce qui n'est nulle part et pourtant le trouver* » et « *La conception, [...] s'intéresse au comment des phénomènes tels qu'ils pourraient être, à l'invention d'artefacts permettant d'atteindre des buts.* ». Dans ces deux définitions, la nouveauté est au centre de la conception.

Nous finissons cette section par la présentation de connaissances générales sur l'activité de conception [Boldrini, 2005].

- Les activités de conception peuvent être menées à différents niveaux (stratégique, politique, tactique ou réflexif). La principale difficulté étant de garantir une cohérence entre les activités individuelles et les projets globaux.
- Certains expliquent le manque de formalisation de l'activité de conception par le fait que c'est une activité où le problème de départ est généralement large et peu circonscrit et où il n'y a pas de chemins prédéterminés pour aller vers la solution.
- La conception est réalisée par la mise en interaction de savoirs de différents domaines. Elle se nourrit et est cadrée par les connaissances des différents acteurs qui participent à sa réalisation. Cette vision multipoints de vue est par exemple reprise par [Lossack and Grabowski, 2000] dans la définition de l'Universal Design Theory (UDT). C'est une théorie de conception dont l'objectif est d'intégrer une large variété de domaines (mécanique, chimie, information, etc.).

En fonction des besoins et des connaissances, la conception s'exprime en termes de résolution de problèmes et/ou de processus créatifs. Elle peut être décrite comme un processus méthodologique ou comme un processus cognitif. Nous pensons néanmoins que ces deux visions sont à considérer conjointement dans notre approche pour la conception des indicateurs.

7.2. Identification d'une théorie pour la conception des indicateurs

Cette section a comme premier objectif de présenter les modèles et les caractéristiques de l'activité de conception. Ces connaissances sont ensuite utilisées afin de sélectionner la théorie de conception adaptée à nos besoins.

7.2.1. Caractérisation de l'activité de conception

7.2.1.1. Les cinq modèles mentaux de la conception

Nous commençons par présenter les cinq modèles mentaux présentés par [Perrin, 2001].

Le premier modèle considère l'activité de conception comme une succession hiérarchique de phases. Il est associé à la représentation de Pahl & Beitz [Pahl *et al.*, 1996]. C'est un modèle prescriptif qui propose une évolution de la conception par une croissance de la concrétisation d'une solution. Il y a une progressivité dans la spécification du résultat même si des feedbacks existent entre les différentes phases. La systématisation permet de disposer d'une démarche méthodique et structurée, ainsi qu'une capitalisation des savoirs faire métiers de conception.

Le deuxième modèle propose l'utilisation d'un cycle élémentaire de conception qui est intégré dans un processus itératif [Roozenburg and Cross, 1991] et. Dans cette vision, les solutions

de conception et les spécifications évoluent de manière concomitante. C'est l'évaluation des solutions générées qui est à l'origine de l'évolution des spécifications.

Le troisième modèle considère l'activité de conception comme un phénomène émergent d'auto organisation. A la différence de la collaboration qui est voulue, ce phénomène est subi. L'émergence apparaît de par des interactions qui ont lieu dans le groupe de conception. L'auto organisation résulte alors (1) d'un processus de recherche de compromis entre les différents métiers présents pour la conception ou (2) de l'utilisation de processus d'apprentissage.

Le quatrième modèle s'appuie sur une vision cognitive de l'activité de conception. Cette vision considère qu'il y a une forte interaction entre l'exploration du problème et sa solution. Cela traduit l'action d'aller-retours dans la définition de la solution lorsqu'il n'y a pas de solutions prédéfinies.

Enfin, **le cinquième et dernier modèle** s'articule autour de la notion de communication. Il considère les interactions qui prennent place entre les concepteurs lorsqu'il s'agit d'une conception collaborative. La réflexion qui naît de ces interactions (parler, écouter et répondre) permet de restructurer les actions, les appréciations et les interprétations.

Ces modèles fournissent une spécification de l'activité de conception en la caractérisant comme une activité nécessitant des tâches interagissant entre elles par hiérarchisation ou par des boucles de feedback. La conception est complexe dans le sens où elle fait intervenir des processus d'auto-organisation et nécessite des comportements cognitifs spécifiques de la part des concepteurs. Ces derniers peuvent par ailleurs être organisés pour collaborer.

7.2.1.2. La décomposition modulaire de la conception

Nous poursuivons par la décomposition modulaire de la conception. Elle est présentée par [Dubois, 2008] et est utilisée afin de comparer des approches de conception. Elle spécifie la conception d'un système technique à l'aide de l'ensemble des étapes à accomplir. Pour autant, cette décomposition n'utilise pas les notions de hiérarchie ou de processus. Il ne s'agit pas non plus d'un modèle prescriptif puisqu'il n'y a pas de préconisation ni de systématisation des étapes. Le Tableau 7.1 présente la liste des modules proposée par Dubois. La liste a été construite à partir de la décomposition structurelle du processus généralement adopté pour la résolution de problème.

Cette décomposition modulaire est utilisée pour la comparaison des approches de conception en analysant leurs niveaux de complétude et de formalisation. Aucune des méthodes comparées⁴⁶ par [Dubois, 2008] ne traite entièrement tous les modules de la conception que ce soit en termes de prise en compte ou de formalisation. Pour [Cavallucci and Lutz, 2000], il est envisageable de proposer une approche complète qui serait une composition de méthodes. Cela est possible puisque l'ensemble des modules est partiellement ou complètement pris en compte dans au moins une des méthodes. Cependant, comment choisir les modules lorsqu'il n'y a pas de grandes différences entre les approches et comment gérer les interactions entre les modules provenant de méthodes

⁴⁶ Les méthodes comparées par [Dubois, 2008] sont : Analyse de la valeur, l'Axiomatic Design, la méthode Pahl & Beitz, le QFD et la TRIZ.

différentes ? [Dubois, 2008] pense qu'il est plus « opportun » de développer des outils, qui soient intégrables dans toute approche méthodologique, et qui ont pour objectif d'aider à la réalisation de chaque module.

Tableau 7.1 - Décomposition modulaire de la conception, [Dubois, 2008]

Description de la situation initiale	
	Définition des besoins
	Description de l'environnement
	Définition des spécifications fonctionnelles
Formulation du problème	
	Définition des problèmes
	Classification des problèmes
Résolution des problèmes	
	Définition des ressources
	Outils de résolution
	Lois d'évolution
Evaluation des solutions	
	Cohérence par rapport aux besoins
	Rentabilisation de la solution
	Analyse du processus

7.2.2. Caractérisation des théories de conception existantes

L'objectif est de placer les théories de conception présentées dans le Tableau 7.2 en fonction des caractéristiques identifiées dans la section 7.2.1.

Tableau 7.2 - Présentation des quatre théories ou modèles de conception analysées

Nom de la théorie	Description	Références
Le modèle de Pahl&Beitz	<p>C'est une succession hiérarchique de phases : clarification de la tâche, conception conceptuelle ou préliminaire, conception imbriquée ou « <i>embodiment design</i> » et conception détaillée.</p> <p>Limites : pas de prise en compte de nouvelles connaissances émergentes et il n'est pas possible de gérer plusieurs alternatives.</p>	[Pahl, 1996]
Axiomatic Design	<p>Utilisation de principes qui sont généralisables et qui guident l'analyse et la prise de décision au sein du processus de conception. Le processus de conception est décrit en 4 phases : établir les objectifs de conception à partir des attentes des consommateurs, générer des idées, analyser les alternatives et sélectionner la meilleure, et enfin implémenter le résultat sélectionné.</p> <p>L'intérêt est de prendre en compte très rapidement les contraintes pour la conception.</p> <p>Limite : cette méthode ne détaille pas suffisamment le passage des fonctions au niveau physique.</p>	<p>[Suh, 1990] [Suh, 2001] [Yang and Zhang, 2000]</p>
Théorie de Résolution des problèmes inventifs - TRIZ	<p>Théorie qui part du principe que la plupart des solutions techniques conçues le sont à partir de connaissances et de concepts existants. Il est donc possible de proposer une vision systématique de la conception. TRIZ propose d'aider à générer des idées à partir de la formalisation des problèmes et par l'utilisation de principes d'évolution, de solutions standards et de matrices de contradictions.</p> <p>Limite : les outils de TRIZ ont tous été développés pour la conception des systèmes techniques. Cette théorie n'est donc pas applicable dans notre contexte.</p>	[Altshuller, 1999]
La théorie C-K	<p>Formalisme qui décrit un raisonnement de conception innovante. Il est basé sur deux espaces : les concepts et les connaissances. L'objectif est de spécifier progressivement des concepts en ajoutant des propriétés issues de l'espace des connaissances (les connaissances nouvelles peuvent éventuellement être produites).</p> <p>Nous détaillons cette théorie dans la section 8.2.5.</p> <p>Limite : le manque de formalisation opérationnelle, en termes d'outils, de la théorie.</p>	<p>[Hatchuel and Weil, 2002] [Hatchuel and Weil, 2003] [Le Masson <i>et al.</i>, 2006]</p>

Le Tableau 7.3 présente le positionnement des quatre théories en fonction de la caractérisation de l'activité de conception. La classification sur les 5 modèles mentaux est réalisée à partir de notre propre analyse. En ce qui concerne la classification sur la décomposition modulaire de la conception, nous utilisons les résultats de [Dubois, 2008]. Il a déterminé le niveau de formalisation des modules en fonction des théories de conception. Seule la théorie C-K n'a pas été positionnée par

Dubois⁴⁷. La force et l'intérêt de cette théorie résident dans sa capacité à proposer un guide pour le raisonnement cognitif alors que les autres méthodes proposent une vision plus déterministe et systématique de la conception. Nous l'avons donc positionné par rapport aux cinq modèles mentaux génériques de la conception et non pas par rapport à la décomposition modulaire (elle n'est pas pertinente).

Tableau 7.3 - Positionnement des théories de conception en fonction des deux propositions de caractérisation de la conception

		Le modèle de Pahl&Beitz	Axiomatic Design	Théorie de Résolution des problèmes inventifs	La théorie C-K
Les cinq modèles mentaux génériques de la conception	Méthode 1				
	Méthode 2				
	Méthode 3				
	Méthode 4				
	Méthode 5				
Description de la situation initiale	Définition des besoins				-
	Description de l'environnement				-
	Définition des spécifications fonctionnelles				-
Formulation du problème	Définition des problèmes				-
	Classification des problèmes				-
Résolution des problèmes	Définition des ressources				-
	Outils de résolution				-
	Lois d'évolution				-
Evaluation des solutions	Cohérence par rapport aux besoins				-
	Rentabilisation de la solution				-
	Analyse du processus				-

7.2.3. Les besoins en conception par rapport à l'activité d'évaluation et la génération des indicateurs

Nous détaillons dans cette section nos besoins par rapport à la conception des indicateurs d'évaluation. Ces besoins sont issus de l'étude de l'activité d'évaluation (voir chapitre 3). Nous avons identifié les besoins suivants :

⁴⁷ Nous estimons que la théorie C-K n'est pas positionnable par rapport à la caractérisation modulaire. Elle propose une vision cognitive de la conception et est donc difficilement caractérisable à partir de modules opérationnels.

- **Besoin 1** - Nous cherchons une approche pour la conception d'indicateurs nouveaux. C'est la complexité de l'environnement d'évaluation qui conduit à cette recherche de nouveauté. *Ce besoin est lié aux caractéristiques de la conception qui concernent la créativité et plus globalement la recherche de solutions.*
- **Besoin 2** - Les indicateurs conçus doivent être pertinents par rapport aux attentes des parties prenantes. Il est donc nécessaire de posséder une approche pour la formalisation de ces attentes. *Ce besoin est associé à la formalisation d'un cahier des charges pour la conception ou la construction de problèmes à résoudre.*
- **Besoin 3** - Les contraintes sur la réalisation de l'évaluation imposent un niveau de formalisation des problèmes qui est variable. La conception des indicateurs doit pouvoir se faire indépendamment du niveau initial de modélisation des problèmes. *Ce besoin est lié aux phases amont de la conception qui concernent la description de la situation initiale et la formulation du problème.*
- **Besoin 4** - Le cadre général de l'activité d'évaluation que nous construisons est destiné aux évaluateurs. Il doit donc être compréhensible et utilisable par eux. Cette nécessité est également valable pour l'approche de conception que nous souhaitons adopter. *Ce besoin se traduit par la nécessité de posséder une méthodologie et des outils opérationnels destinés aux évaluateurs.*
- **Besoin 5** - L'évaluation des stratégies de sécurité routière est réalisée dans un contexte multidisciplinaire. *Ce besoin conduit à la prise en compte d'un point de vue collaboratif (collaboration entre experts en sécurité routière) mais également d'un point de vue apprentissage (l'évaluateur est formé aux méthodes provenant d'autres disciplines).*
- **Besoin 6** - Les résultats de conception doivent être des indicateurs mesurables. C'est-à-dire qu'ils doivent par exemple être adaptés aux contraintes sur les données et sur les outils statistiques. Néanmoins, nous ne souhaitons pas avoir une intégration de ces contraintes dès le début de la conception. L'identification de pistes de recherche fait partie des résultats de l'évaluation. *Ce besoin conduit à distinguer les phases de créativité et de validation.*
- **Besoin 7** - La réalisation de l'évaluation conduit à la construction de nouvelles connaissances qui sont directement utilisables dans l'évaluation. Il en est de même pour la conception des indicateurs, de nouvelles connaissances peuvent être créées pendant l'étape de conception. Celles qui évoluent au cours du temps sont celles sur les attentes/problèmes d'évaluation mais aussi sur l'environnement d'évaluation. *Ce besoin est lié à l'utilisation des ressources et à la définition des besoins et attentes.*

Nous relierons dans le Tableau 7.4 ces besoins avec les caractéristiques de la conception que nous avons présentées. Associé avec le Tableau 7.3, il nous permet ensuite de justifier l'adoption d'une théorie de conception (voir section suivante).

Tableau 7.4 - Positionnement des besoins en conception par rapport aux modèles génériques et à la vision modulaire de la conception

		Besoin 1	Besoin 2	Besoin 3	Besoin 4	Besoin 5	Besoin 6	Besoin 7
Les cinq modèles mentaux génériques de la conception	Modèle 1							
	Modèle 2							
	Modèle 3							
	Modèle 4							
	Modèle 5							
Description de la situation initiale	Définition des besoins							
	Description de l'environnement							
	Définition des spécifications fonctionnelles							
Formulation du problème	Définition des problèmes							
	Classification des problèmes							
Résolution des problèmes	Définition des ressources							
	Outils de résolution							
	Lois d'évolution							
Evaluation des solutions	Cohérence par rapport aux besoins							
	Rentabilisation de la solution							
	Analyse du processus							

7.2.4. Adoption d'une théorie de conception

Le processus de sélection de la théorie C-K s'est fait de façon intuitive à partir des théories que nous avons identifiées. Notre approche de l'évaluation repose sur la formalisation et l'activation de connaissances sur les cas d'évaluation traités ainsi que sur les connaissances des évaluateurs. Nous avons donc estimé que la théorie C-K, qui est une théorie qui repose sur le management des connaissances, est pertinente vis-à-vis de notre positionnement. Ce chapitre sert à justifier, de façon plus détaillée, notre choix en se basant sur nos besoins et la caractérisation de l'activité de conception (les besoins 1, 3 et 7 sont les plus importants).

Les besoins par rapport aux cinq modèles génériques de la conception : l'analyse de nos besoins montre que nous cherchons une théorie basée sur l'explicitation des processus cognitifs de conception permettant la conception de nouveaux indicateurs. Nous cherchons à comprendre l'émergence des solutions, la collaboration, la recherche de compromis, et enfin la construction et l'intégration de nouvelles connaissances dans la conception. La caractérisation des théories de conception montre que la théorie C-K est la plus pertinente pour la réalisation de ces objectifs.

Les besoins par rapport à la décomposition modulaire de la conception : nos besoins traitent pratiquement l'ensemble des modules de la conception (à part trois d'entre eux). Il est donc indispensable que nous adoptions ou que nous proposons une approche de conception la plus complète possible. Cette réflexion ne concerne pas la théorie C-K (elle n'est pas positionnée par rapport à la décomposition modulaire). Il nous est donc nécessaire de développer, en parallèle de la théorie C-K, des outils qui servent par exemple à la formalisation des problèmes d'évaluation.

En complément de cette vision créative, nous développons également une vision plus déterministe de la conception des indicateurs. Cette deuxième approche a pour objectif de construire des indicateurs en se basant sur la définition structurelle des indicateurs, des composants et des règles de composition (voir chapitre 12).

7.2.5. La théorie C-K

La théorie C-K est une formalisation du raisonnement de conception [Hatchuel, 2002], [Hatchuel, 2003], et [Le Masson, 2006]. La théorie différencie l'espace C des concepts et l'espace K des connaissances. L'espace de connaissance K regroupe des propositions qui ont un statut logique (vrai, faux, indécidable, etc.) alors que les concepts de l'espace C sont des propositions qui n'ont pas de statut logique (il n'est pas possible de dire si le concept est vrai ou non). La théorie postule que le raisonnement en conception se réalise par la différenciation des deux notions C et K, et par l'interaction et l'expansion de ces deux espaces (voir la Figure 7.2 et l'Exemple 7.1).

Le concept d'expansion a un rôle central dans l'activité de conception. Sans expansion, la conception n'est que sélection. La théorie C-K se focalise donc sur la modélisation de ces mécanismes. La théorie présente tout d'abord deux opérations élémentaires de la conception : la partition restrictive et la partition expansive. La première permet de restreindre l'espace des possibles d'un ensemble spécifié. Alors que la seconde est appliquée à un ensemble non spécifié que l'expansion construit progressivement. Nous avons la liberté de construire les partitions dans la vision expansive en ajoutant des propriétés à la notion initiale, les définitions sont modifiées. C'est grâce à ces partitions expansives que l'invention est possible dans la conception.

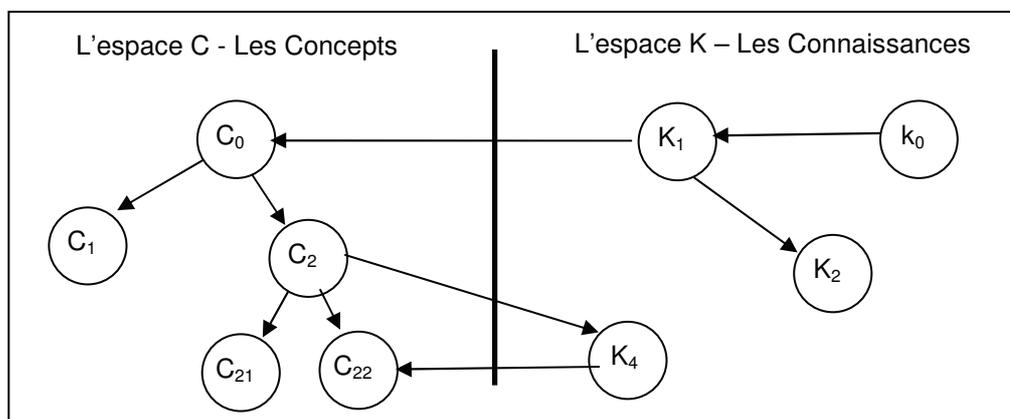


Figure 7.2 - La théorie C-K

Le raisonnement de conception est décrit à l'aide d'opérations que l'on spécifie à travers le carré de la conception. Il est composé de deux opérateurs externes (C vers K et K vers C) et deux opérateurs internes (C vers C et K vers K). Voici la description de ces quatre opérateurs (voir la Figure 7.3) :

- **K vers C** : phase d'expansion de C à partir des connaissances, c'est la naissance des concepts. Tout raisonnement de conception doit débuter par la formulation d'un concept

(proposition novatrice sans statut logique) à partir des propositions de K. Il s'agit d'ajouter ou de retirer des propriétés émanant de K aux concepts de C.

- **C vers K** : c'est l'arrêt du raisonnement de conception. La conception se termine lorsque nous savons que les propriétés du concept ont un statut logique, alors le concept se transforme en connaissance. Dans une approche restrictive, les concepts admissibles sont définis dans K, il est donc possible de les évaluer. Cependant, dans le cas de partition expansive, un concept peut ne pas avoir de statut logique dans K. Il est donc nécessaire de pouvoir identifier des « non-sens ». On utilise pour cela une épreuve qui peut ne pas être définie. De ce cas découle une expansion de K et c'est pour cela que l'on parle de K-Validation. En résumé, la validation consiste à formuler une question logique à partir de C ($C \rightarrow K$). Puis de traiter cette question à partir de K ($K \rightarrow K$). Ce qui peut amener à une expansion de K ($K \rightarrow K'$). Il faut pour cela posséder une approche d'acquisition de nouvelles connaissances. Enfin, la dernière étape peut être la validation du concept, la création de nouveaux concepts à partir des nouvelles connaissances ($K' \rightarrow C'$), ou alors l'échec (la conjonction dans C-K n'est pas garantie).
- **C vers C** : règles de partition et d'inclusion dans la théorie des ensembles.
- **K vers K** : règles de logique qui permettent la propre expansion de l'espace des connaissances (déduction ou expérimentation).

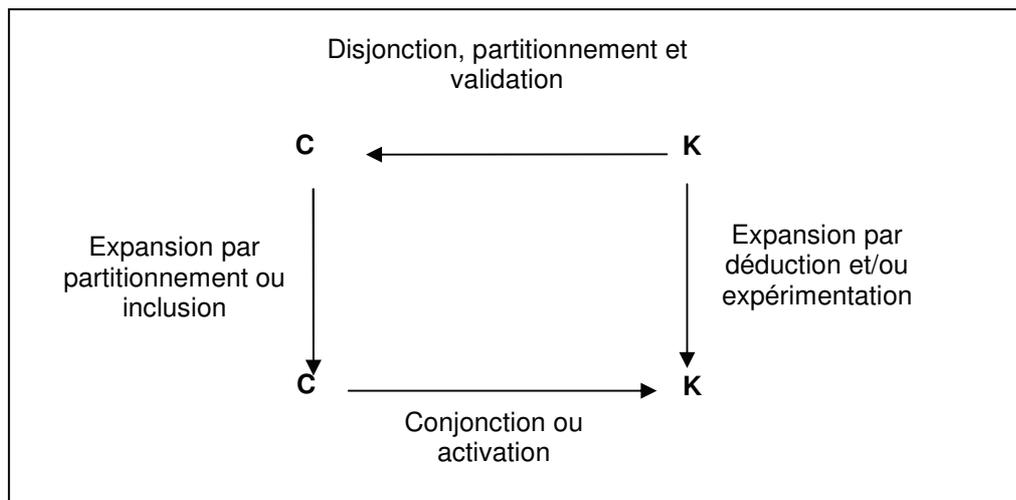


Figure 7.3 - Le carré de la conception, [Hatchuel *et al.*, 2004]

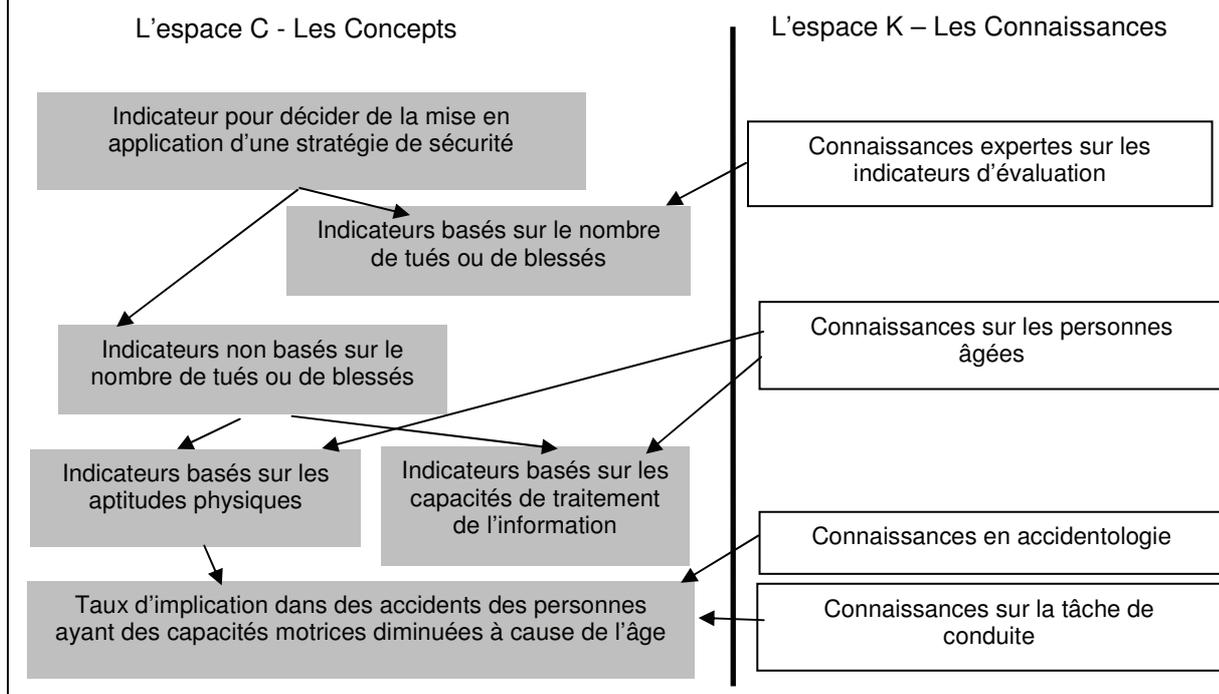
Cette théorie qui est basée sur une expansion conjointe des espaces des connaissances et des concepts permet d'expliquer les conceptions de solutions utilisant des connaissances répandues et celles utilisant des connaissances rares. Enfin, elle permet de réaliser la conception dans un environnement flou où il n'y a pas de cahier des charges précis.

Exemple 7.1 – Utilisation partielle de la théorie C-K pour la construction d'un indicateur d'évaluation concernant une politique de sécurité sur les personnes âgées

« Quel est l'indicateur (ou plusieurs) permettant de décider de la mise en application d'une stratégie de sécurité dont l'objectif serait de retirer le permis de conduire de certaines personnes âgées ? », telle est la question que nous utilisons dans cet exemple.

Les indicateurs basés sur le nombre de tués ou de blessés sont utilisables pour cette question. Il s'agit par exemple de déterminer le taux de tués en fonction de l'âge et ainsi observer si les personnes âgées sont surreprésentées. Cet indicateur a déjà été utilisé et validé dans d'autres contextes, il y a donc déjà des connaissances le concernant. Par contre, dans notre contexte il peut être considéré comme un concept. C'est à l'évaluateur de décider de son statut logique en fonction de sa pertinence pour répondre à la question et en fonction de sa calculabilité.

La proposition « un indicateur d'évaluation qui n'est pas basé sur le nombre de tués ou le nombre de blessés » est un concept. Afin de proposer des partitions de ce concept nous activons des connaissances sur les personnes âgées. Nous savons par exemple qu'il y a des travaux sur l'évaluation des aptitudes physiques et sur la capacité de traitement de l'information. Ces connaissances sont couplées avec celles sur l'étiologie des accidents. On cherche à identifier quels sont les aptitudes ou les capacités nécessaires à la réalisation de la tâche de conduite. Ces connaissances conduisent à générer deux nouvelles partitions : les indicateurs sur les aptitudes physiques et ceux sur la capacité de traitement de l'information. Finalement, on propose le concept d'indicateur suivant : « taux d'implication dans des accidents des personnes ayant des capacités motrices diminuées à cause de l'âge ». La dernière étape consiste à valider ce concept à partir de connaissances.



7.3. Synthèse et positionnement

L'objectif de ce chapitre est de caractériser l'activité de conception, d'exprimer nos besoins par rapport à la conception des indicateurs et de justifier l'adoption d'une théorie répondant à nos attentes.

L'étude de la conception montre qu'il en existe deux visions complémentaires. La première considère la conception comme un processus déterministe et linéaire qui part d'un niveau de spécification pour arriver au résultat souhaité. La conception est alors entièrement décrite en termes de tâches. La seconde considère que la conception est une activité cognitive humaine. Il n'y a pas de processus déterministes. La conception est une activité réalisée par l'homme et elle nécessite des comportements créatifs spécifiques.

Ces deux visions sont complémentaires dans notre travail de recherche. Les évaluateurs ont besoin d'elles pour la conception des indicateurs. Néanmoins, ce chapitre est focalisé sur la recherche d'une méthode de conception créative. Nous n'avons pas trouvé de modèle déterministe applicable à la conception des indicateurs.

Un ensemble de cinq modèles génériques ainsi qu'une description modulaire sont utilisés pour caractériser la conception. Ces caractéristiques sont dans un premier temps reliées avec nos besoins sur la conception des indicateurs. Elles sont ensuite utilisées pour comparer des théories de conception et ainsi justifier et appuyer notre choix de la théorie C-K.

A partir de l'analyse réalisée dans ce chapitre, nous proposons de baser, en partie, la génération des indicateurs sur l'utilisation de la théorie C-K. Cette proposition s'accompagne de la nécessité structurelle de proposer un modèle pour la modélisation et la construction des besoins ainsi que des problèmes d'évaluation. Cela dans l'objectif de garantir une continuité dans la progression de la conception et de la réalisation de l'évaluation. Nous identifions également l'objectif de proposer un modèle déterministe de la conception des indicateurs.

Partie IV - Extraction & modélisation de la connaissance sur l'évaluation

Cette partie est destinée à la présentation de la démarche et des résultats du travail de modélisation de l'activité d'évaluation. Nous rappelons que notre objectif est de détailler deux des cinq étapes du modèle générique de l'évaluation (voir section 3.4).

La modélisation de l'activité d'évaluation est basée sur la systémographie et une approche mixte de modélisation. Cela permet de construire un méta-modèle qui sera utilisé par les évaluateurs pour réaliser leur activité. Notre méta-modèle est décrit suivant deux points de vue complémentaires : une structure ontologique dans laquelle sont détaillés tous les concepts pertinents pour l'évaluation et une partie fonctionnelle qui contient les tâches à réaliser pour utiliser la partie ontologique du méta-modèle.

La construction du méta-modèle est basée sur les connaissances théoriques (voir chapitres 3, 5, 6 et 7) et les connaissances expertes issues des séances de travail que nous avons réalisées. Ces séances ont servi à identifier les attentes des parties prenantes et les pratiques des évaluateurs. Notre approche de modélisation repose donc sur les moyens d'acquisition de connaissances suivants : les workshops, l'analyse d'articles scientifiques et les interviews.

La modélisation des cas d'évaluation repose sur une description des attentes des parties prenantes et des stratégies de sécurité routière. Nous proposons pour cela un diagramme de classes qui détaille tous les concepts ainsi que leurs attributs permettant de décrire les attentes et les stratégies. L'utilisation de ces diagrammes est décrite dans la partie V.

Chapitre 8. Démarche générale pour la modélisation de l'activité d'évaluation

Ce chapitre détaille notre démarche de modélisation de l'activité d'évaluation en sécurité routière. Celle-ci est basée sur les connaissances présentées dans les parties II et III de ce mémoire. Nous utilisons conjointement les connaissances sur l'évaluation, la modélisation systémique et une approche mixte de modélisation.

8.1. Positionnement par rapport à l'activité d'évaluation

Nous avons identifié deux approches potentielles pour la modélisation de l'activité d'évaluation en sécurité routière.

La première est une méthode absolue et déterministe que l'évaluateur doit mettre en œuvre de façon systématique afin de résoudre un cas d'évaluation. Cette approche technicienne ne convient pas pour deux raisons principales :

- Premièrement, il est illusoire de penser pouvoir identifier l'ensemble des processus et leurs alternatives à mettre en œuvre pour la réalisation d'évaluations dans le contexte complexe de la sécurité routière. L'exhaustivité est en effet hors de portée d'un tel travail de modélisation. Il nécessiterait l'identification et la modélisation de toutes les méthodes expertes existantes. Or nous avons montré que l'évaluation en sécurité routière implique une grande diversité des points de vue et donc des méthodes d'évaluation.
- Ensuite, nous estimons que le besoin d'innovation dans la génération des indicateurs ne peut être uniquement traité par l'utilisation de méthodes automatiques. Les capacités créatives de l'évaluateur doivent également être utilisées.

Ce positionnement critique vis-à-vis d'une approche absolue et technicienne nous amène à décrire la deuxième approche envisageable : **construire un cadre de l'activité d'évaluation dont l'objectif est de guider la génération des méthodes et des indicateurs d'évaluation par la mobilisation des connaissances expertes, des capacités créatives des évaluateurs ainsi qu'une base de cas d'évaluation déjà traités (capitalisation et réutilisation)**. Ce positionnement que nous avons choisi nous semble être le seul qui soit en mesure de traiter l'évolution des problématiques et du contexte d'évaluation. Ce choix correspond au positionnement qui est détaillé dans la partie III.

Nous focalisons cette proposition sur les points suivants :

- La modélisation de l'évaluation consiste à fournir des modèles qui ont pour objectif de guider la réalisation des évaluations et non pas d'imposer des modèles déterministes.

- La réalisation de l'évaluation se fait par interaction entre l'évaluateur et son environnement. Ceci traduit une des hypothèses fondatrices de l'épistémologie constructiviste dans laquelle la connaissance se construit par l'action et donc l'interaction entre l'observateur (ici l'évaluateur) et son environnement (les parties prenantes, le système routier, etc.). La spécification, la résolution et la réalisation du problème d'évaluation se construisent au fur et à mesure et sont spécifiques à un évaluateur.
- L'utilisation de l'épistémologie constructiviste rend possible une conception relativisée de l'évaluation. La notion de point de vue est utilisée afin de différencier les parties prenantes ainsi que les évaluateurs. Cette hypothèse implique par exemple l'existence possible de plusieurs évaluations (au sens de méthode) pour un même cas. Des évaluateurs différents peuvent construire des évaluations différentes.
- En plus d'être utilisée pour la modélisation de l'activité d'évaluation, la systémique sert à appréhender la complexité du système routier. Nous l'utilisons pour modéliser les stratégies de sécurité en nous focalisant sur la compréhension de leurs interactions avec leur environnement.
- L'évolution permanente de l'environnement d'évaluation (attentes des parties prenantes, stratégies de sécurité et système routier) implique la nécessité de concevoir de nouveaux indicateurs. Deux approches sont utilisables pour traiter ce besoin. La première est un outil automatique de génération d'indicateurs basé sur une définition structurelle des indicateurs et une logique de combinaison. La seconde repose sur une théorie de créativité.

8.2. Méthodologie de construction du modèle de l'évaluation

La construction d'un modèle de l'activité d'évaluation revient à développer un méta-modèle (au sens de la systémographie) ou un modèle conceptuel (au sens de l'ingénierie des connaissances). Nous utilisons par la suite soit le terme de méta-modèle ou de modèle conceptuel afin d'éviter les confusions liées à l'utilisation du terme « modèle ».

Nous articulons sa construction autour de la systémographie combinée avec une approche mixte de modélisation (dirigée par les données et les modèles).

8.2.1. La systémographie et la modélisation des connaissances

Nous détaillons dans cette section la systémographie (ce concept a été introduit dans le chapitre 5). Cette description est basée sur les travaux de [Le Moigne, 1999] mais nous en proposons notre propre interprétation⁴⁸.

La systémographie propose un processus de modélisation en trois étapes : le cadrage du méta-modèle, le développement de modèle(s) et l'interprétation du/des modèles (voir Figure 8.1). A ces trois étapes nous ajoutons celle de spécification du système général. Nous illustrons certaines des étapes par la présentation de l'Exemple 8.1.

⁴⁸ Nous estimons en effet que l'interprétation de la systémographie varie en fonction des utilisateurs et de leurs disciplines/domaines.

- La première étape consiste à **identifier un système général**⁴⁹ (SG) qui est ensuite utilisé comme une « *procédure explicite de conception-construction de modèles* ». Le SG est défini dans l'objectif de fournir les connaissances à utiliser pour réaliser la construction du méta-modèle. Nous proposons de définir notre système général à l'aide des connaissances en systémique, sur l'activité d'évaluation (théories et expertises des évaluateurs) et sur les théories de conception.
- Le **cadrage** : cette étape consiste à construire un méta-modèle qui doit être suffisamment stable et générique pour traiter l'ensemble des évaluations qu'un évaluateur peut rencontrer. La construction de ce méta-modèle est donc un acte finalisé que nous repons sur notre système général. Ces connaissances sur le système général constituent un cahier des charges que nous utilisons afin d'identifier, de sélectionner/concevoir et de caractériser les éléments pertinents qui spécifient le méta-modèle.
- Le **développement** consiste à modéliser un phénomène à l'aide du méta-modèle. Il s'agit de faire correspondre « *les traits perçus du phénomène* » avec le méta-modèle. Le phénomène à modéliser est un cas d'évaluation qu'un évaluateur doit traiter. Cette correspondance est homomorphique, c'est-à-dire que les modèles ne reprennent qu'une partie de la structure du phénomène que l'on modélise (la perception d'un phénomène est toujours limitée).
- L'**interprétation** : on utilise les modèles afin d'en tirer les connaissances que nous recherchons. Les connaissances sont utilisées pour la réalisation des évaluations.

Il y a analogie entre la systémographie et la photographie : nous construisons des modèles des phénomènes que nous observons à l'aide d'un objectif. Dans notre travail de recherche, l'objectif est le système général qui nous sert d'outil pour la construction du méta-modèle et donc des représentations des cas d'évaluations. Pour l'évaluateur, c'est le méta-modèle qui sert d'objectif pour la réalisation des évaluations.

⁴⁹ Le système général fournit un cadre de pensée sur lequel repose la modélisation de l'évaluation. il est constitué d'un ensemble de connaissances pertinentes par rapport à nos besoins.

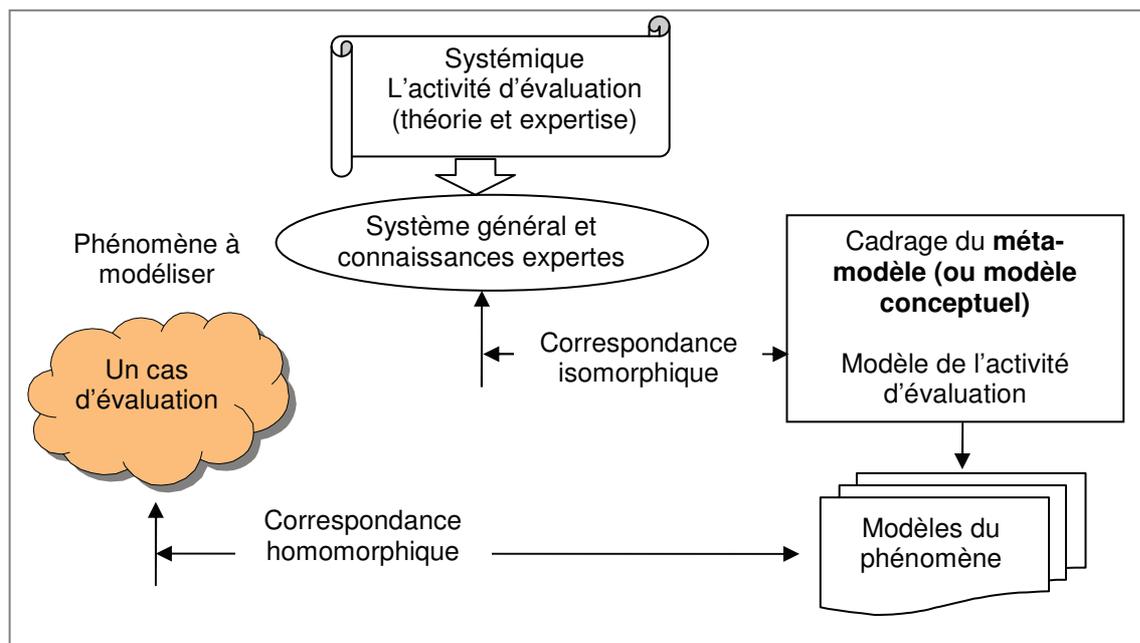


Figure 8.1 - Modélisation dirigée par un méta-modèle, modifié et adapté de [Le Moigne, 1999]

Pour construire un méta-modèle qui soit suffisant pour aborder l'ensemble des cas d'évaluation, nous utilisons la conjonction d'une approche descendante et d'une approche ascendante de modélisation. La première dérive directement de la notion de système général (voir section 8.2.2). La seconde repose sur l'utilisation de l'ensemble des connaissances sur l'évaluation formalisées à travers le travail sur l'état de l'art (recueil des pratiques) et la réalisation des séances de travail sur l'évaluation (voir section 8.2.3). L'utilisation d'une approche ascendante permet de valider la pertinence des informations qui définissent le méta-modèle. Elle ne permet cependant pas la prise en compte des caractéristiques non formalisées ou non utilisées et qui peuvent pourtant être pertinentes. L'approche descendante comble ce manque car elle impose une réflexion globale sur l'évaluation.

8.2.2. Détails sur la formalisation de notre système général

La notion de système général propose de nombreux concepts utilisables dans notre travail de modélisation. Nous utilisons par exemple le concept de **pertinence** qui pousse le modélisateur non pas vers l'exhaustivité (irréaliste) mais au contraire vers la construction d'une représentation incomplète mais cependant pertinente par rapport à ses finalités. Le concept de **système**, tel qu'il est défini dans la systémique, est utilisé pour la description d'éléments comme le contexte ou encore les stratégies de sécurité. Chacun de ces éléments est modélisé en utilisant une approche systémique de modélisation dans laquelle nous nous intéressons aux aspects ontologiques, fonctionnels, génétiques et téléologiques du système modélisé. La systémique sert de guide pour aller au delà de la simple prise en compte des aspects fonctionnels des systèmes.

Les connaissances théoriques sur l'activité d'évaluation sont la base d'un travail de définition des éléments constitutifs du méta-modèle. Chaque terme (les composants ou les activités) présent

dans les définitions est caractérisé en fonction des connaissances issues des séances de travail et de l'étude des pratiques évaluatives.

Exemple 8.1 - Modélisation et utilisation du concept « *problème d'évaluation* »

La compréhension du problème d'évaluation à traiter est nécessaire pour l'évaluateur afin qu'il puisse construire son évaluation. Nous proposons dans cet exemple d'illustrer les étapes de cadrage, de développement et d'interprétation d'un concept constitutif de notre méta-modèle.

L'étape de **cadrage** définit ce qu'est un problème d'évaluation ainsi que les processus qui lui sont associés. Cette étape est basée sur les connaissances issues de l'analyse des pratiques de l'évaluation et d'un travail de construction. Nous avons formalisé qu'un problème est associé à une partie prenante, qu'il a un nom, une description, un type, une taxonomie, qu'il est basé sur des hypothèses et enfin que sa résolution permet d'atteindre un objectif. Nous avons ensuite défini des tâches qui concernent sa modélisation, sa mise à jour et son utilisation. Chacune de ces tâches s'intègre dans la définition fonctionnelle et générale de l'évaluation.

L'étape de **développement** consiste à utiliser la caractérisation et les tâches définies précédemment dans un cas d'évaluation bien précis. Nous proposons par exemple de modéliser un problème d'évaluation associé à un service d'avertisseur de la position des véhicules dans un carrefour. Nous considérons par exemple la partie prenante « constructeur automobile » qui a pour objectif de développer des stratégies de sécurité rentables et efficaces en termes de vies sauvées ou de blessés évités (objectif). Elle cherche à « décider si ce service peut être remplacé par autre chose » (taxonomie de problème), c'est donc un problème de décision (type de problème). Le problème traité est : « quelle est l'évaluation (au sens de méthodes et d'indicateurs) qui permet de décider du remplacement du service évalué par un autre ? » (Titre du problème).

Enfin, l'étape d'**interprétation** consiste à utiliser ce modèle du problème dans la réalisation des évaluations. Suite à l'étape de développement, l'évaluateur possède une définition d'un problème qu'il utilise pour, par exemple, construire des indicateurs qui permettront de répondre à ce problème.

8.2.3. Réalisation de séance de travail sur le thème de l'activité d'évaluation

8.2.3.1. Motivation de la réalisation des séances de travail

Pour la réalisation d'une approche mixte de modélisation de l'activité d'évaluation (cf. chapitres 4 et 6), nous avons besoin de données décrivant les pratiques des évaluateurs ainsi que les attentes des parties prenantes. Afin de recueillir de telles connaissances sur l'activité d'évaluation, nous avons organisé des séances de travail. Les participants de ces séances étaient en lien avec la sécurité routière et/ou l'activité d'évaluation, et ils étaient de disciplines et/ou de domaines d'activité différents.

Les connaissances formulées par la réalisation de ces séances sont utilisées dans l'approche de modélisation ascendante de l'évaluation. Les connaissances décrivent par exemple des problèmes d'évaluation génériques, des attentes particulières, des outils d'évaluations, des indicateurs, etc. Pour l'approche de modélisation descendante, ces séances ont pour objectif de compléter les connaissances issues de l'état de l'art sur les approches et théories de l'activité d'évaluation.

Nous cherchions dans un second temps à confronter notre proposition théorique de cadrage de l'activité d'évaluation. Nos propositions étaient soumises à la critique des évaluateurs et des parties prenantes de l'évaluation. Ces séances étaient l'occasion de confronter une première version de notre cadre afin d'en identifier les inconvénients et les apports mais aussi de travailler à proposer de nouvelles solutions.

Les objectifs de ces séances de travail étaient de dialoguer et de travailler avec des acteurs de la sécurité et/ou de l'activité d'évaluation afin d'identifier des connaissances sur les besoins et les pratiques de l'activité d'évaluation. Les résultats de ces séances sont utilisés pour la construction, l'ajustement et l'instrumentation de notre cadre de l'activité d'évaluation.

8.2.3.2. Méthodologie de réalisation des séances

La méthodologie de réalisation des séances est constituée des trois étapes suivantes : la conception de l'organisation des séances, la réalisation des séances et finalement l'analyse et la valorisation des résultats.

La conception des séances de travail

Ces séances sont construites sur l'utilisation d'outils et de méthodes pour la créativité. Ceux-ci permettent la réalisation de séances qui soient propices à la formulation de connaissances sur des thématiques très précises et pour lesquelles l'échange et la confrontation d'idées sont primordiales. Nous avons basé la construction des séances sur les recommandations formulées par des experts de l'innovation ainsi que sur un état de l'art des méthodes de conduite de séance de travail/créativité [De Bono, 2004].

La contrainte principale pour la réalisation de ce type de séance est la disponibilité des participants. Dans notre cas, il n'était pas envisageable de convoquer les participants plus d'une demi-journée. Il a donc fallu structurer les séances afin de répondre aux objectifs définis précédemment tout en prenant en compte cette contrainte.

Le travail de conception a abouti à une description des séances qui se décompose en trois étapes principales (voir **Figure 8.2**) : un brainstorming, une présentation théorique suivie d'une discussion libre et enfin une phase de travail en groupe sur la réalisation d'évaluation à partir d'exemples (scénarii).

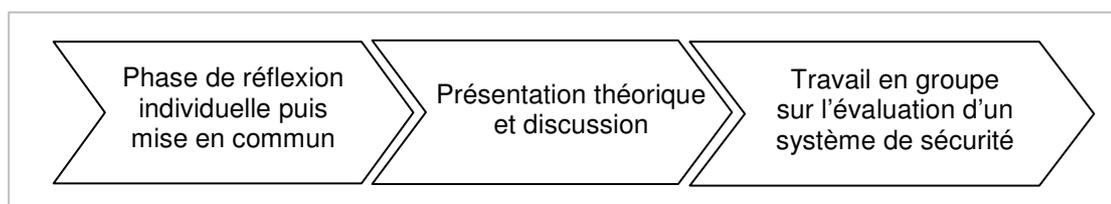


Figure 8.2 - Protocole de déroulement d'une séance de travail

La réalisation de la première étape faisait suite à la présentation des participants (tour de table), du contexte, des objectifs et de l'emploi du temps de la séance. Ce brainstorming consistait à ce que chaque participant rédige sur des Post-its toutes les idées ou connaissances qu'il a sur l'activité d'évaluation. Afin d'orienter ou d'aider les participants, nous présentions la liste des thématiques suivantes : exigences par rapport à l'évaluation, identification des destinataires, domaines concernés, outils opérationnels, indicateurs, et utilisation des résultats d'évaluation. Nous avons particulièrement insisté sur le thème des indicateurs car leur identification en fonction des disciplines et des domaines d'activité est un enjeu essentiel pour notre travail. Suite à la phase de rédaction, qui durait environ 10 minutes, nous passons aux étapes de restitution des idées et de discussion.

Lors de la deuxième étape, nous avons réalisé une présentation de nos premiers résultats de recherche (15 min environ). A ce stade de la recherche, les éléments présentés étaient plus une proposition qu'un résultat final. Nous décrivions notre vision créative de l'évaluation. Nous insistions sur le rôle de l'évaluateur dans la conception des évaluations ainsi que sur les deux premières phases qui sont l'analyse du cas d'étude et la génération des indicateurs.

Cette limitation n'avait cependant pas d'impact puisque l'objectif pour les participants était de commenter notre proposition et non pas de la valider ou de l'adopter.

La dernière étape⁵⁰ était l'occasion de mettre en situation les participants. L'objectif était d'identifier des méthodologies de traitement d'un problème d'évaluation. Nous cherchions à identifier comment les participants procèdent face à un cas d'évaluation nouveau. Quelles sont les connaissances qu'ils utilisent ? Quelles sont les hypothèses formulées ? Comment les objectifs et les problèmes sont définis ? Etc.

Nous proposons aux participants de réaliser l'évaluation d'un système de sécurité. Si le nombre de participants était suffisant, deux groupes étaient formés (5 personnes environ). Ensuite, chaque groupe devait sélectionner le système à évaluer parmi deux systèmes déjà présélectionnés. Afin de susciter le plus de réflexions possible, nous avons présélectionné deux systèmes technologiques caractérisés comme complexes. Le premier système est un régulateur de vitesse intelligent à lecture automatique de panneaux. Ce premier système n'existait pas encore au moment de la réalisation des séances. Le deuxième système est le LDW (Lane Departure Warning), c'est un

⁵⁰ Nous avons du faire face à quelques contraintes dans la réalisation de cette dernière phase : il ne restait pas toujours suffisamment de temps pour l'exécuter dans de bonnes conditions ou alors certains participants n'avaient pas suffisamment de temps pour rester jusqu'à la fin des séances.

système qui existe déjà et qui prévient le conducteur lorsque celui-ci quitte sa voie de façon involontaire ou non signalée par le clignotant. C'est un système qui est déjà implémenté depuis quelques temps et il a été le sujet de plusieurs évaluations [De Ridder *et al.*, 2003], [COWI, 2004], [Kuehn *et al.*, 2009], et [Houser *et al.*, 2009].

La réalisation des séances

Nous avons réalisé en tout quatre séances avec un total de 30 participants qui ont été choisis en fonction des critères suivants :

- Etre un acteur de l'évaluation et/ou être en relation avec la sécurité routière. Nous avons donc pour cela cherché à sélectionner des participants provenant des constructeurs automobiles (PSA et Renault), de différents organismes publics travaillant sur la sécurité routière (exemple de l'ONISR⁵¹), des personnes extérieurs à la sécurité routière mais qui réalisent des évaluations et enfin des personnes du LAB et du CEESAR⁵².
- Avoir des participants qui ont des métiers et/ou des rôles différents dans les organisations auxquelles ils appartiennent. Nous avons par exemple des personnes qui travaillent en ergonomie, en économie, en accidentologie, etc. et qui ont des rôles de chercheur, de décideur, de conseiller, de technicien de l'évaluation, etc.

Nous avons contacté chaque participant potentiel pour leur présenter notre cadre de recherche et notre besoin vis-à-vis des séances. Après avoir eu leur accord, nous lançons un protocole de préparation qui était identique pour chaque groupe. Nous présentions en détails la problématique de notre travail de recherche et les enjeux des séances de travail. Cela permettait à chaque participant de s'imprégner du problème et de commencer à y réfléchir. Cette phase d'imprégnation était réalisée 15 jours avant la séance.

L'ensemble du discours a été préparé afin qu'il soit clair et compréhensible par l'ensemble des participants. La première séance a également été utilisée comme séance de test pour observer la réaction des participants et pour effectuer les réglages au niveau des discours et de la gestion du temps. Nous avons également à notre disposition un support de présentation, un tableau pour afficher les Post-its et noter les éléments clés. De plus, chaque séance a été enregistrée (dictaphone).

Traitement et valorisation des résultats

L'analyse des séances a été réalisée par le traitement des enregistrements audio et les verbatims rédigés par les participants durant les séances. L'objectif était d'identifier chacun des éléments pertinents par rapport aux objectifs fixés.

⁵¹ ONISR : Observatoire National Interministériel de Sécurité Routière

⁵² CEESAR : Centre Européen d'Etudes de Sécurité et d'Analyse des Risques

8.2.3.3. Les résultats des séances de travail

Nous détaillons dans cette section les résultats obtenus pour chacune des trois étapes.

L'objectif était de réaliser des séances qui soient similaires. Néanmoins, même si la structure des séances n'a pas évolué, son contenu a, lui, évolué. En effet, la réalisation des séances a fait émerger certains problèmes de compréhension sur notre méthode. Nous avons donc été amenés à reconsidérer et à adapter certains discours et transitions afin de guider au mieux les participants et d'avoir une bonne dynamique de travail.

Première étape : brainstorming sur le thème de l'évaluation

Cette première phase a permis de formaliser 189 idées sur l'ensemble des séances. On a remarqué que l'ensemble des participants a été en mesure de rédiger plusieurs idées.

Tout d'abord, en ce qui concerne les indicateurs d'évaluation, il n'y a pas eu de réelles nouveautés par rapport à ce que nous avons déjà identifié. Le nombre de propositions était assez limité alors qu'il en existe un très grand nombre. Ce résultat montre que malgré l'importance des indicateurs dans la réalisation des évaluations, ceux qui sont utilisés sont souvent les mêmes. Cela est peut être lié à la prise en compte des connaissances utilisées pour calculer les indicateurs et donc de leurs limites. Les indicateurs utilisés sont ceux que l'on peut calculer.

Nous demandions aux participants de présenter leur modèle générique de l'activité d'évaluation. Malgré les quelques tentatives, il n'y a pas eu de réelle proposition. Nous n'avons donc pas pu identifier de modèles permettant de construire les méthodes et les indicateurs d'évaluation. Les participants ont cependant exprimé certains enjeux associés à la réalisation des évaluations. La validité des résultats ou encore le besoin d'anticiper le fonctionnement du système routier pour les évaluations a priori sont certains exemples des enjeux exprimés. Nous les utilisons afin de spécifier notre modèle de l'évaluation. Ils sont en effet utilisables pour définir les objectifs que notre modèle permettra d'atteindre.

Enfin, l'un des sujets les plus abordés concerne l'utilisation des résultats. Nous avons noté que les participants considèrent que l'évaluation a une grande importance dans la réalisation de leur activité. Pour eux, les indicateurs sont principalement destinés à servir pour les évaluations multicritères et pour la construction de jugements de valeur. Ces observations servent à spécifier le rôle de l'évaluation et de l'utilisation des indicateurs.

Deuxième étape : présentation théorique et discussion

La présentation a suscité l'intérêt malgré quelques difficultés de compréhension. Les remarques suivantes sont celles qui nous semblent les plus pertinentes :

- Notre approche créative de l'évaluation a été perçue comme pertinente par les participants. Pour eux, il est important de posséder un modèle qui permettrait de s'adapter à l'évolution de leur environnement. Un nouveau système à évaluer implique le besoin de construire un

nouvel indicateur. C'est par exemple le cas en innovation. Un système innovant qui est évalué sur la base des indicateurs existants peut ne pas se différencier des systèmes existants. Cela est dû au fait qu'une innovation ne peut être évaluée par des indicateurs ne prenant pas en compte les évolutions des systèmes évalués.

- Notre approche est basée sur l'utilisation de modèles des stratégies que nous évaluons. Nous supposons que leur compréhension suivant différents points de vue permet de guider la phase de construction de l'évaluation. Ce positionnement lié à la modélisation semble en partie partagé par les participants. Seuls certains domaines particuliers tels que l'économie ne le partagent pas entièrement. Dans certains cas, la connaissance des systèmes évalués n'est pas une nécessité, seule la mesure du résultat final compte. Dans le cas des sciences humaines, la possession de modèles décrivant toutes les dimensions du système routier et de la stratégie évaluée est nécessaire. Il semble cependant que les modèles actuels ne soient pas suffisants pour traiter l'ensemble des problématiques abordées. Ils rencontrent la même difficulté que nous avons déjà identifiée : celle de calculer la performance d'une stratégie de sécurité en fonction de la compréhension globale de la complexité du système routier. Il n'est tout simplement pas toujours possible de calculer une performance qui dépend des comportements imprévisibles et changeants du système routier. Face à cet enjeu, certains participants ont exprimé leur besoin de posséder de nouveaux modèles pour la gestion de cette complexité dans les évaluations. Nous proposons dans ce sens un méta-modèle pour la modélisation de la complexité.
- Le dernier point majeur que nous avons identifié concerne la difficulté de l'appropriation de notre proposition par les évaluateurs. Certains participants évaluateurs ont en effet exprimé leurs difficultés à comprendre le cadre conceptuel. Surtout, ils n'ont pas réussi à identifier leur rôle dans notre modèle. Ce problème peut s'expliquer par le manque de formalisation opérationnelle de notre proposition au moment où les séances ont été réalisées. Nous insistons cependant sur le fait que ce problème est majeur par rapport à notre travail de recherche. Nous proposons donc deux solutions afin de le traiter : une dont l'objectif est de former les évaluateurs aux bases conceptuelles de l'activité d'évaluation et une autre qui concerne la construction d'un outil qui soit adapté aux pratiques des évaluateurs. Toutes deux poursuivent l'objectif de rendre utilisable notre proposition par les évaluateurs.

Troisième étape : travail en groupe sur l'évaluation d'un système de sécurité

L'analyse des résultats proposés par les participants montre dans un premier temps que, comme nous l'avons exposé dans l'introduction, les évaluateurs ont tendance à réutiliser leurs connaissances. Ils réutilisent automatiquement des indicateurs et des méthodes d'évaluation sans avoir au préalable réalisé une étude détaillée du cas d'évaluation. Cette observation est vraie lorsqu'il s'agit d'expert de l'évaluation en sécurité routière. Lorsqu'il s'agit de participants novices en sécurité routière, il y a un travail plus important sur la compréhension du système de sécurité. Nous observons également que les experts intègrent dès le début de la conception de leur proposition les contraintes sur les données et les outils statistiques. Cela va dans le sens de la génération d'indicateurs directement calculables. Cependant, nous pensons que cette prise en compte trop rapide des contraintes opérationnelles peut brider la recherche de nouveaux indicateurs. Il faut laisser la

possibilité de trouver des indicateurs qui sont pertinents mais qui ne sont peut être pas a priori calculables. Cela permet d'identifier des pistes de recherche pour le recueil de données et/ou la recherche de nouveaux outils statistiques par exemple.

Enfin, nous avons observé que la majorité des participants cherchent à comprendre la stratégie évaluée. Ils ont pour objectifs d'identifier tous les phénomènes pouvant avoir une influence sur le calcul de la performance globale. Néanmoins, cette recherche est réalisée de façon intuitive. Les participants se projettent dans l'utilisation de la stratégie de sécurité pour identifier les limites dans son fonctionnement ou encore l'émergence de nouveaux comportements. Cette analyse dépend donc en grande partie des compétences et de l'expertise de l'évaluateur. Une autre démarche est nécessaire pour faciliter cette activité des évaluateurs.

8.2.3.4. Synthèse et valorisation des résultats des séances de travail

Nous avons organisé des séances de travail afin de recueillir des connaissances sur les pratiques et les attentes par rapport à l'activité d'évaluation.

Les connaissances ainsi recueillies ont pour objectif de nous aider dans la construction et l'instrumentation du modèle de l'évaluation. Elles sont à la fois utilisées dans une approche ascendante (dirigée par les données) et dans une approche descendante (dirigée par les modèles) de modélisation de l'activité d'évaluation. Cela nous permet de considérer à la fois l'expertise et les besoins des parties prenantes et des évaluateurs ainsi que les modèles théoriques existants.

D'une façon générale, les résultats de ces séances ont tendance à conforter la principale problématique que nous avons su identifier, à savoir le manque d'un modèle générique de l'activité d'évaluation qui oblige les évaluateurs à baser leur activité sur leur expertise et la réutilisation. Les résultats montrent également un manque dans la génération des indicateurs. Seule une faible partie des possibilités d'indicateur est utilisée et il n'y a pas d'approche formalisée pour leur conception. Finalement, la proposition que nous avons présentée semble être bien acceptée car elle décrit une vision de l'évaluation pertinente par rapport aux besoins exprimés.

8.2.4. Détails sur la structure du méta-modèle - Le langage UML

Tout travail de modélisation nécessite l'utilisation d'un langage approprié pour la réflexion et la communication. Afin de garantir une compréhension partagée de nos résultats et de posséder un langage pour l'opérationnalisation, nous avons décidé d'utiliser UML⁵³ [Roques, 2006]. Ce langage a été développé pour les projets logiciels et est actuellement un des langages de modélisation le plus utilisé. Malgré cette vocation pour le domaine informatique, son utilisation est plus large et concerne par exemple les travaux de modélisation en génie industriel. A l'origine, UML est spécifié par la conjonction de différents formalismes que sont BOOCH⁵⁴, OMT⁵⁵ et OOSE⁵⁶. C'est à présent un

⁵³ **UML** : « Unified Modeling Language » ou « Langage de Modélisation Unifié »

⁵⁴ **BOOCH** est une méthode orientée objet utilisée pour l'analyse et la conception. Grady Booch qui est son inventeur est également un des concepteurs d'UML.

standard spécifié par l'OMG⁵⁷. La version 1 est apparue en 1997 et la version 2 que nous utilisons actuellement est apparue en 2003.

UML est un langage graphique qui est structuré autour de 13 types de diagrammes. Ils sont positionnés suivant trois axes de modélisation : fonctionnel, dynamique et statique (voir Figure 8.3).

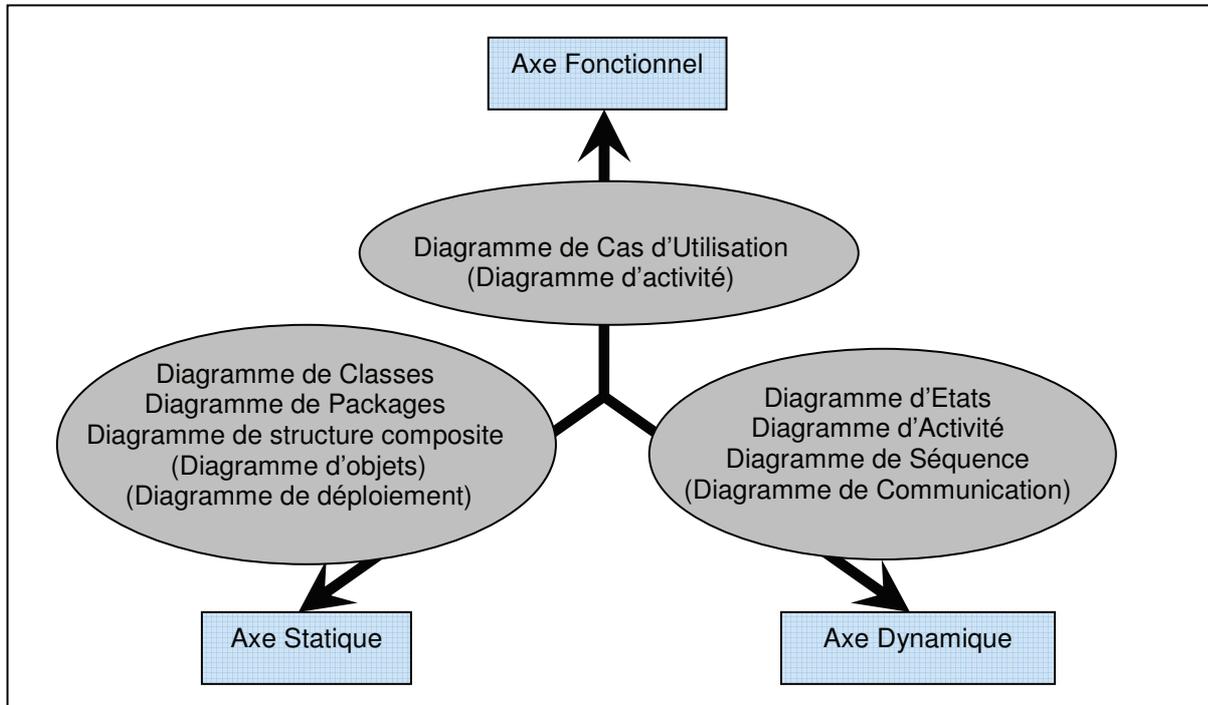


Figure 8.3 - Axes de modélisation et diagrammes décrivant UML [Roques, 2006]

De part la diversité de ses points de vue (ses trois axes de modélisation), le langage UML est adapté à nos besoins de modélisation systémique. Les axes ontologique, fonctionnel, génétique et téléologique sont traités par les diagrammes présentés. Nous utilisons les diagrammes de cas d'utilisation, d'activité, de séquence et de classes.

L'objectif global du langage UML par rapport à notre travail de recherche consiste à fournir un langage permettant la formalisation du méta-modèle que nous proposons. Il doit permettre la prise en compte de l'ensemble des axes systémiques de modélisation. Il est également utilisé pour spécifier un cahier des charges à partir duquel il sera possible de construire une application informatique utilisable par les évaluateurs.

⁵⁵ **OMT** : « Object Modeling Technique » ou « technique de modélisation objet » est un langage de modélisation objet inventé par James Rumbaugh qui est également un des concepteurs d'UML.

⁵⁶ **OOSE** : « Object Oriented Software Engineering » est une méthode de modélisation orientée objet qui permet l'analyse des usages des logiciels à partir des « cas d'utilisation » et de l'analyse du cycle de vie es logiciels.

⁵⁷ **OMG** : Object Management Group

Nous présentons dans le Tableau 8.1 ces trois types de diagramme ainsi qu'une description de leur utilisation. Dans la Figure 8.4, nous présentons le positionnement de ces diagrammes par rapport aux axes systémiques. Ces différents diagrammes sont également utilisés afin de spécifier le cahier des charges du système/logiciel que nous cherchons à construire pour rendre opérationnel le méta-modèle.

Tableau 8.1- Description des diagrammes UML utilisés

	Description	Utilisation
Diagramme de cas d'utilisation	Il sert à décrire le comportement fonctionnel global du système modélisé. Le « <i>cas d'utilisation</i> » est une description des interactions qui servent à l'acteur pour atteindre son objectif en utilisant l'activité d'évaluation	Nous l'utilisons afin de décrire notre proposition fonctionnelle globale de la réalisation de l'activité d'évaluation.
Diagramme de classes	C'est un ensemble de concepts/classes organisés et caractérisés qui définissent l'ontologie du système modélisé. C'est un diagramme qui fait abstraction des aspects dynamiques et temporels.	Nous utilisons ce type de diagramme afin de décrire l'ensemble des concepts qui caractérisent la réalisation de l'évaluation. Il s'agit par exemple des concepts « partie prenante » ou « problème d'évaluation » (voir Exemple 8.1).
Diagramme d'activité	Il détaille le comportement du système. Il représente le processus de réalisation des actions en fonctions des états du système et du temps.	Nous l'utilisons afin de fournir une description comportementale de chaque cas d'utilisation que nous avons identifiée pour réaliser l'évaluation.

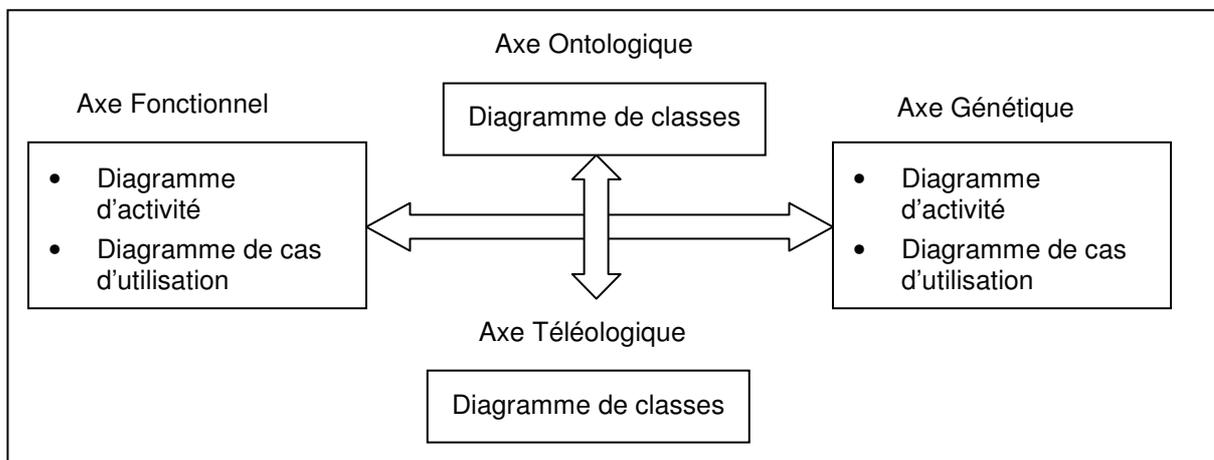


Figure 8.4 - Positionnement des diagrammes UML par rapport aux axes de modélisation systémique

8.3. Cadrage des phases amont de l'activité d'évaluation

Le diagramme de cas d'utilisation décrit l'activité d'évaluation dans sa globalité (voir Figure 8.5). Il est construit à partir de la description générique de l'activité d'évaluation qui est présentée dans le Chapitre 3 (voir section 3.4). Les cas d'utilisation caractérisent notamment les interactions entre les acteurs (évaluateur et partie prenante) et le système que l'on cherche à construire pour chacune des cinq phases. Ce schéma n'est cependant pas suffisant pour décrire toutes les interactions nécessaires à la réalisation des évaluations. Ce sont par exemple celles permettant la

construction des indicateurs d'évaluation. Néanmoins, ce schéma, qui est une représentation macroscopique, fournit une vue générale de l'évaluation. Des modèles supplémentaires sont nécessaires.

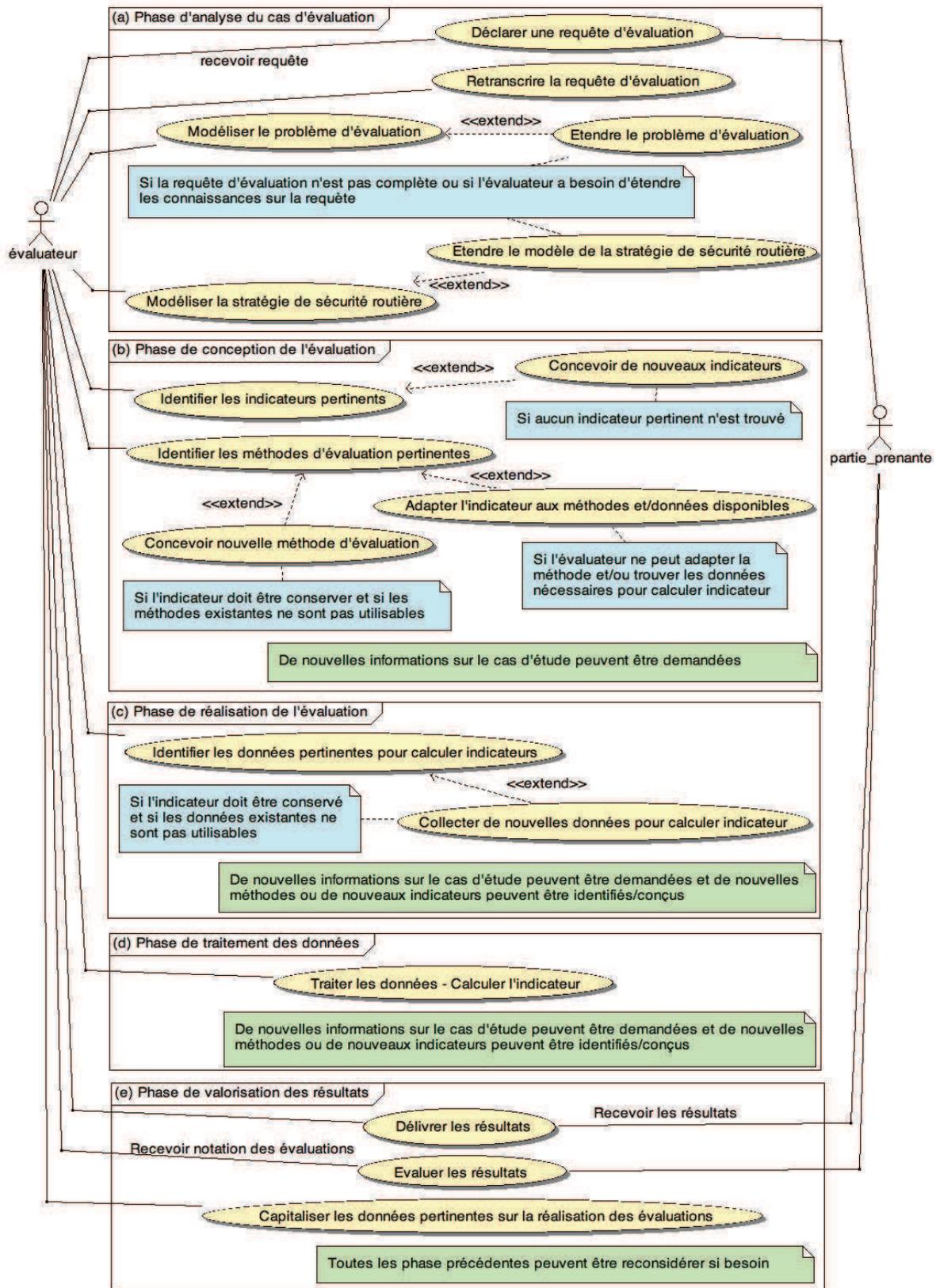


Figure 8.5 - Diagramme de cas d'utilisation de l'activité d'évaluation

Notre travail de recherche est principalement focalisé sur la formalisation des deux phases amont du processus générique de l'activité d'évaluation. Ce sont les phases « d'analyse du cas d'étude » et de « conception des indicateurs et méthodes d'évaluation ». Ce choix est justifié par les limites et questions issues de l'observation des pratiques évaluatives et des attentes des évaluateurs et parties prenantes. Ce sont les phases pour lesquelles nous avons identifié le plus d'enjeux pour l'amélioration des évaluations (voir partie II). Les leviers d'améliorations concernent l'identification des besoins d'évaluation, la compréhension des stratégies de sécurité à évaluer et la conception des indicateurs. Nous n'avons pas identifié de méthodes ou d'approches permettant de les traiter. La plupart des recherches sur l'activité d'évaluation concernent les phases opérationnelles de l'évaluation (recueil de données et outils statistiques). Notre objectif est donc de proposer des méthodes et outils permettant la réalisation des deux premières étapes en collaboration avec des pratiques déjà existantes.

Dans les chapitres suivants, nous détaillons les cas d'utilisation qui sont représentés dans la Figure 8.5 (ceux correspondant aux deux premières phases de l'activité d'évaluation). Pour chaque cas d'utilisation, deux descriptions sont fournies. La première concerne les modèles structurels. Tous les concepts pertinents pour la réalisation du cas d'évaluation sont présentés. Nous utilisons pour cela des diagrammes de classes (voir les chapitres 9 et 10). La deuxième description renseigne sur les modèles fonctionnels. Ce sont les activités que les évaluateurs doivent mettre en œuvre pour réaliser une évaluation. Nous utilisons pour cela les diagrammes d'activités (voir chapitre 11 et 12). Dans ces deux chapitres, nous détaillons également les outils pour l'opérationnalisation des activités : modèle de calcul de la similarité entre des cas d'évaluation, construction de nouveaux indicateurs par combinaisons d'éléments ainsi que par une approche de créativité.

La Figure 8.6 décrit la structuration des résultats de notre travail de recherche.

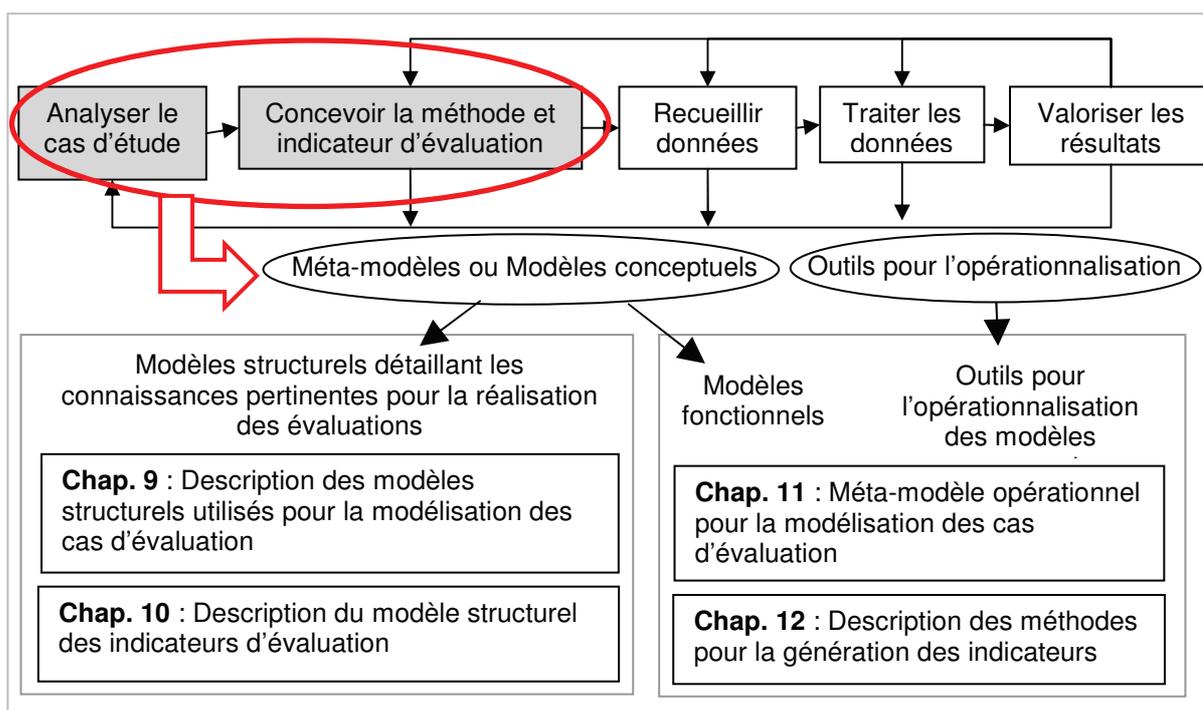


Figure 8.6 - Structure de présentation de notre proposition de modèle de l'activité d'évaluation

La focalisation sur les deux premières étapes implique certaines limites. Tout d'abord, nous n'abordons pas en détails les activités opérationnelles de l'évaluation (trois dernières phases) ainsi que la conception des méthodes d'évaluation (partie de la phase 2). Néanmoins, une proposition a été faite dans le projet Européen DaCoTa. Dans ce dernier, un lien est créé pour sélectionner les méthodes existantes par rapport au cas d'étude, aux indicateurs à calculer et aux données disponibles. L'objectif est de proposer un modèle permettant de lier la partie analyse/conception et la partie opérationnelle de l'évaluation. De plus, une autre thèse a débuté au sein du LAB. Elle concerne la mise en œuvre de méthodes statistiques dont un des objectifs est le calcul des indicateurs de performance. L'objectif est de partager les connaissances des travaux de recherche respectifs pour construire une approche complète de l'activité d'évaluation.

Ensuite, la focalisation sur les deux premières étapes a pour conséquence de ne pas pouvoir détailler l'ensemble des boucles de feedbacks. Ces dernières participent à la construction des évaluations par des processus d'essais/erreurs ou de recherche d'informations (apprentissage). Néanmoins, dans la suite du mémoire nous abordons la boucle permettant la formalisation du cas d'étude et la construction des indicateurs (co-construction). Les indicateurs sont construits par rapport à un cas d'évaluation et la formalisation de ce dernier évolue en fonction des besoins pour la construction des indicateurs. Une autre boucle de feed-back nécessite d'être abordée, c'est celle qui lie les méthodes d'évaluation et les indicateurs (pas abordée en détails par la suite). Elle est primordiale car elle contrôle la recherche d'indicateurs qui soient calculables. Dans un premier temps, les indicateurs répondent à un besoin, néanmoins, ils peuvent ne pas être calculable. L'intérêt est, le cas échéant, de pouvoir identifier des pistes d'amélioration (par exemples sur le recueil de données ou les outils statistiques). Dans le cas où aucune modification n'est envisageable, il est nécessaire de revenir sur la phase de conception des indicateurs ou la spécification du besoin pour construire un indicateur calculable. Actuellement, ce problème n'est pas présent. Les évaluateurs intègrent dès le début les contraintes opérationnelles dans la sélection/construction des indicateurs. Cette méthode permet d'avoir rapidement des indicateurs calculables mais ne garantit pas la pertinence de ceux-ci par rapport aux besoins. Cette boucle de feed-back est intégrée dans la proposition pour le projet DaCoTa.

8.4. Synthèse

Dans ce chapitre, nous détaillons notre méthodologie pour la modélisation de l'activité d'évaluation. Elle est basée sur une vision créative de l'évaluation et a pour objectif d'aider l'évaluateur dans la conception et la réalisation de son activité. Ce n'est pas un modèle déterministe et absolu de l'évaluation.

La construction du méta-modèle (ou modèle conceptuel) est basée sur la conjonction de la systémographie et de la méthode mixte de modélisation. La systémographie fournit une approche globale pour la construction et l'utilisation du méta-modèle. La méthode mixte de modélisation est utilisée pour la construction du méta-modèle. Elle est à la fois une approche descendante - utilisation des modèles de l'activité d'évaluation et de la systémique - et une approche ascendante - utilisation des connaissances issues de l'analyse des pratiques et de la réalisation de séances de travail sur l'évaluation.

D'un point de vue opérationnel, nous choisissons d'utiliser le langage UML afin de représenter le méta-modèle. Les différents diagrammes UML sont adaptés à la modélisation suivant les différents axes systémiques.

Nous nous focalisons sur les deux premières phases de l'évaluation : l'analyse du cas d'étude et la génération des indicateurs d'évaluation. Ce sont celles qui manquent le plus de formalisation et pour lesquelles peu de recherches sont effectuées dans le domaine de la sécurité routière. Les connaissances formalisées sur le cas d'évaluation sont en perpétuelle évolution de part l'activité de l'évaluateur (expansion des connaissances) et sont utilisées afin de générer des propositions (expansion des concepts) qui guident la conception des indicateurs d'évaluation. Les chapitres suivants ont pour objectifs de détailler ces deux phases (résultats de la construction du méta-modèle).

Chapitre 9. Modélisation du cas d'évaluation

Ce chapitre présente la partie structurelle du méta-modèle associé à la phase d'analyse des cas d'évaluation (ou cas d'étude). Son objectif est de détailler les concepts qui sont utilisés pour modéliser les cas d'évaluation. Ces concepts sont une partie des résultats de la démarche présentée dans le chapitre 8.

Ce chapitre est organisé en trois sections principales. La première détaille les objectifs de l'approche d'analyse des cas d'étude. Les deux autres sections concernent la présentation des concepts. L'une est centrée sur la modélisation des attentes des parties prenantes et des problèmes d'évaluation. L'autre se focalise sur la modélisation des stratégies de sécurité (voir Figure 9.1).

La description des concepts est réalisée par l'utilisation des diagrammes de classes⁵⁸ (langage UML).

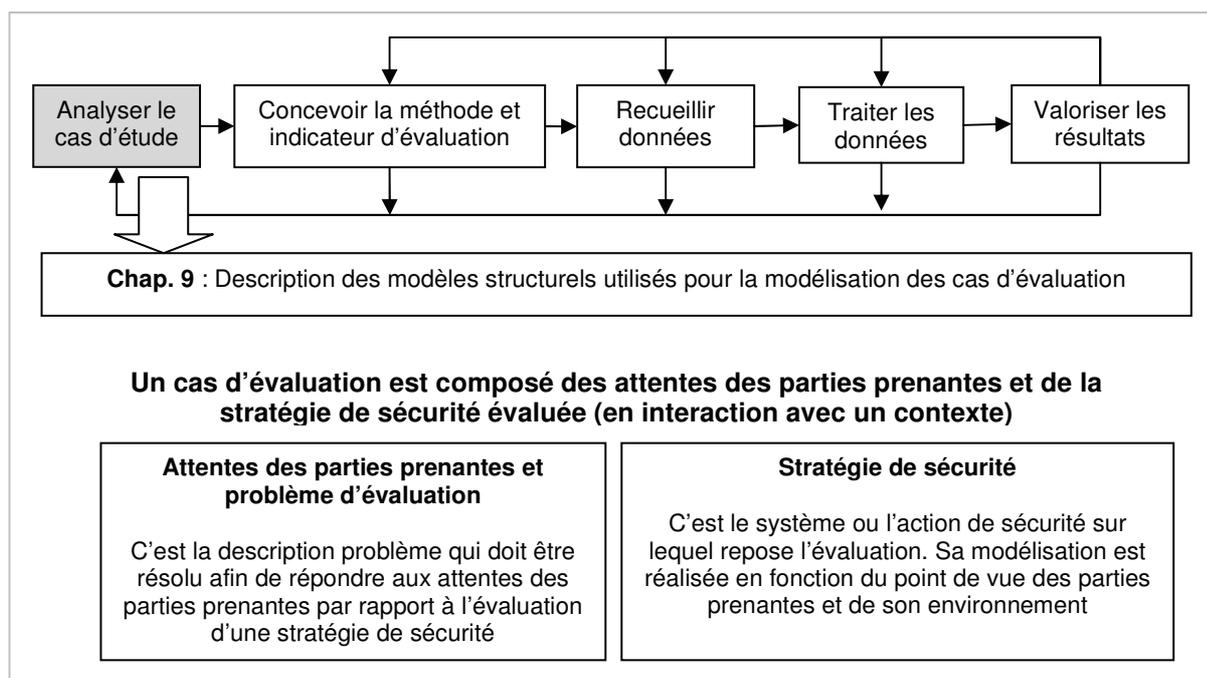


Figure 9.1 - Apports du chapitre 9 par rapport au modèle général de l'activité d'évaluation

⁵⁸Les diagrammes de classes présentés sont destinés à la description générale des concepts. Dans la configuration actuelle, ils ne sont pas directement utilisables pour la conception d'un outil logiciel opérationnel. Nous avons choisis de définir les multiplicités de façon à ce qu'elles rendent compte de façon réaliste des associations entre les concepts. Un travail sur les multiplicités est donc nécessaire afin de passer à l'opérationnalisation. Il s'agit principalement de proposer des multiplicités qui rendent possible la déclaration d'items sans nécessiter l'existence a priori d'autres items (problème relatif aux relations « 1...n »). Nous faisons donc la différence entre les diagrammes de classes conceptuels pour la compréhension et les diagrammes de classes opérationnels qui sont à destination des développeurs.

9.1. Motivations et objectifs de la phase d'analyse des cas d'étude

Nous avons posé comme hypothèse que la réalisation d'une bonne évaluation nécessite, au départ, des représentations pertinentes du cas d'étude. Les connaissances le décrivant renseignent à la fois sur les attentes des parties prenantes, la stratégie de sécurité évaluée et sur le contexte d'évaluation. Avec de telles connaissances, l'évaluateur est en mesure de comprendre précisément la demande des parties prenantes. Ainsi, il est en mesure de finaliser (au sens d'objectif) la construction et la réalisation des évaluations.

Malgré l'importance de cette phase d'analyse par rapport à l'activité d'évaluation, nous avons observé que son utilisation et sa formalisation ne sont pas suffisamment traitées en sécurité routière. Nous expliquons ces manques par les raisons suivantes :

- Les parties prenantes ne sont pas toutes en mesure de formaliser une demande d'évaluation soit parce que le besoin n'a pas été clairement identifié soit parce qu'il est trop complexe à transmettre à l'évaluateur.
- Les parties prenantes ne sont pas toutes accessibles. La discussion entre évaluateur et partie prenante n'est pas envisageable. L'imprécision sur le cas d'évaluation est dans ce cas reliée au niveau d'interaction entre l'évaluateur et les parties prenantes, plus il y a interaction plus la formalisation du cas est grande.
- Enfin, il n'existe pas d'approches ou d'outils suffisamment formalisés qui guident la réalisation de cette tâche en sécurité routière.

Ces différents points spécifient en partie l'approche que nous devons développer. Nous cherchons à construire une approche qui doit permettre le dialogue entre l'évaluateur et les parties prenantes, qui doit être structurellement conçue pour aider les évaluateurs à construire des représentations (des modèles) de ces attentes, et enfin qui doit être fonctionnellement conçue pour gérer la conception et l'extension des cas d'évaluation. Ce travail est destiné aux évaluateurs.

Les finalités majeures de cette approche de modélisation sont les suivantes :

- Construire des modèles des cas d'évaluation dans lesquels la notion de point de vue est intégrée dans l'objectif de garantir la pertinence des indicateurs. Cette volonté est justifiée par la stratégie de construction des indicateurs dans laquelle les connaissances sur le cas d'évaluation sont directement intégrées. Les indicateurs sont générés en fonction des attentes et des activités des parties prenantes.
- Construire des modèles des stratégies de sécurité suivant une approche systémique afin d'aborder leur complexité lorsque cela est nécessaire. C'est-à-dire en considérant l'ensemble des aspects ontologiques, fonctionnels, génétiques et téléologiques.
- Notre dernier objectif concerne la flexibilité du modèle. Nous cherchons à proposer une structure de modélisation qui s'adapte aux besoins et aux contraintes de l'évaluateur. Il s'agit par exemple de s'adapter à ses contraintes temporelles. Il peut ne pas avoir suffisamment de

temps pour construire un modèle détaillé de la stratégie de sécurité évaluée. Malgré cette contrainte, il doit pourtant être en mesure d'en construire un modèle qui soit utilisable pour la réalisation de l'évaluation. La récursivité de l'approche systémique permet de construire des représentations à différents niveaux de granularité. Nous pouvons par exemple construire des modèles macroscopiques et microscopiques des stratégies de sécurité et les utiliser pour réaliser l'évaluation.

9.2. Méta-modèle pour la modélisation des attentes des parties prenantes

La structure du méta-modèle est composée de concepts reliés les uns avec les autres. Nous définissons ici la structure de modélisation des attentes des parties prenantes par l'utilisation des concepts suivants⁵⁹ :

- **Partie prenante** (voir Figure 9.2 et Exemple 9.1) : Personnes ou groupe de personnes qui ont à voir avec la sécurité routière. Nous distinguons les parties prenantes qui ont un rôle dans la sécurité routière (« les acteurs de la sécurité ») et celles qui subissent les actions des premières (« les spectateurs » ou « usagers »). Nous distinguons également celles qui sont commanditaires de l'évaluation (c'est une caractéristique d'une partie prenante). Ce sont celles qui expriment directement un besoin d'évaluation. Une partie prenante est décrite par son métier (domaine de compétence), par l'organisation à laquelle elle appartient et par son rôle dans cette organisation ou dans l'évaluation. Nous considérons par exemple les rôles⁶⁰ de consultants (donnent leur avis/perception sur la sécurité routière), de collaborateurs/partenaires (aide, sous-traitance, réorientation), de concepteur, de décideur, de testeur, etc. Enfin, nous renseignons la disponibilité de la partie prenante pendant la réalisation de l'évaluation. C'est une information importante lorsque l'évaluateur a besoin de compléter des informations sur le cas d'évaluation.

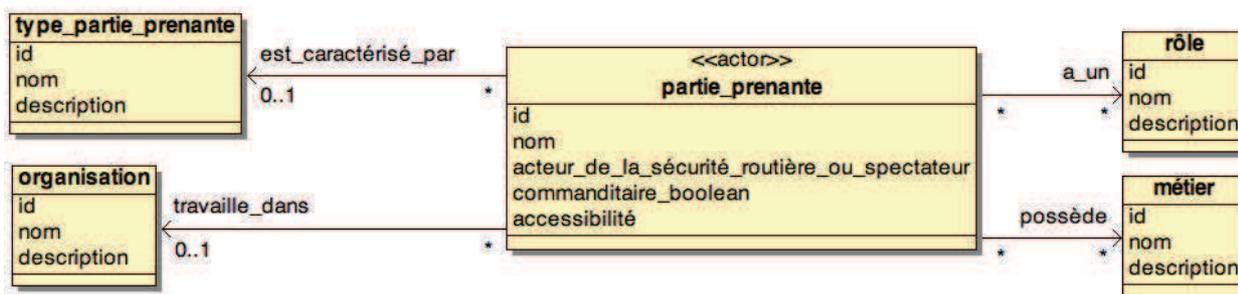


Figure 9.2 - Diagramme de classes - Partie prenante

⁵⁹ Beaucoup des concepts détaillés dans ce chapitre ont déjà été abordés dans les chapitres précédents. Il s'agit ici de fournir une définition détaillée pour la modélisation.

⁶⁰ Le rôle de commanditaire de l'évaluation est directement intégré dans le concept de « partie prenante ».

- **Métier**⁶¹ (voir Figure 9.2 et Exemple 9.1) : nous utilisons le concept de métier comme (1) un élément de caractérisation des parties prenantes et (2) comme un point de vue pour la modélisation (un métier est un point de vue). Le deuxième point permet de construire des représentations multipoints de vue d'une même évaluation. Dans le cas où plusieurs parties prenantes sont liées par une même évaluation, l'évaluateur est en mesure de construire des modèles pour chacune d'elle. Par exemple, il peut ainsi différencier les besoins.

Exemple 9.1 - Exemple de la modélisation de parties prenantes et leur représentation des systèmes de communication C2X

Nous considérons dans cet exemple deux parties prenantes qui sont liées à l'évaluation des systèmes de communication C2X : les conducteurs de véhicule et les ingénieurs de développement de cartographies pour la navigation. Nous utilisons le méta modèle pour les décrire (il n'y a pas ici de demande d'évaluation, il s'agit juste d'exemples de modélisation) :

Constructeur automobile (nom) : c'est un acteur de la sécurité routière, il est un **commanditaire** d'évaluation et son **accessibilité** est variable (dépend des interlocuteurs). Son **type** est « constructeur automobile », c'est une **organisation**, il a plusieurs **métiers** et son **rôle** est de concevoir des automobiles.

Ingénieur de développement de cartographie (nom) : c'est un **acteur** de la sécurité routière, il n'est pas **commanditaire** d'évaluation et son **accessibilité** est grande dans un cas de collaboration avec l'évaluateur. Son **type** est « ingénieur », il travaille pour une entreprise de cartographie (**organisation**), son **métier** est « ingénieur cartographie », et son **rôle** est de concevoir des cartes pour les systèmes de communication C2X

Chacune de ces deux parties prenantes a sa propre représentation des systèmes C2X. Par exemple, les usagers ne considèrent que les fonctions accessibles de ces systèmes. Alors que les ingénieurs cartographie ont des modèles informatiques et fonctionnels. L'utilisation des métiers en tant que point de vue permet justement de différencier ces deux modèles. Nous détaillons la modélisation des stratégies de sécurité dans la section 9.3.

- **Positionnement évaluatif** (voir Figure 9.3) : est utilisé pour décrire les points de vue évaluatifs génériques que l'on utilise afin d'orienter les évaluations. C'est par exemple le positionnement « santé publique ». Il sert à orienter la conception et la réalisation des évaluations. Ils sont liés aux parties prenantes à partir des concepts de « métier » et de « rôle ». Enfin, ils sont définis à l'aide d'indicateurs élémentaires d'évaluation (voir Figure 9.4 et le chapitre 10).

⁶¹ Dans notre cas, le concept de métier est lié à celui de point de vue dans le sens de l'opinion. Nous utilisons ce concept afin de construire des représentations qui prennent en compte l'expérience et les connaissances du métier considéré.

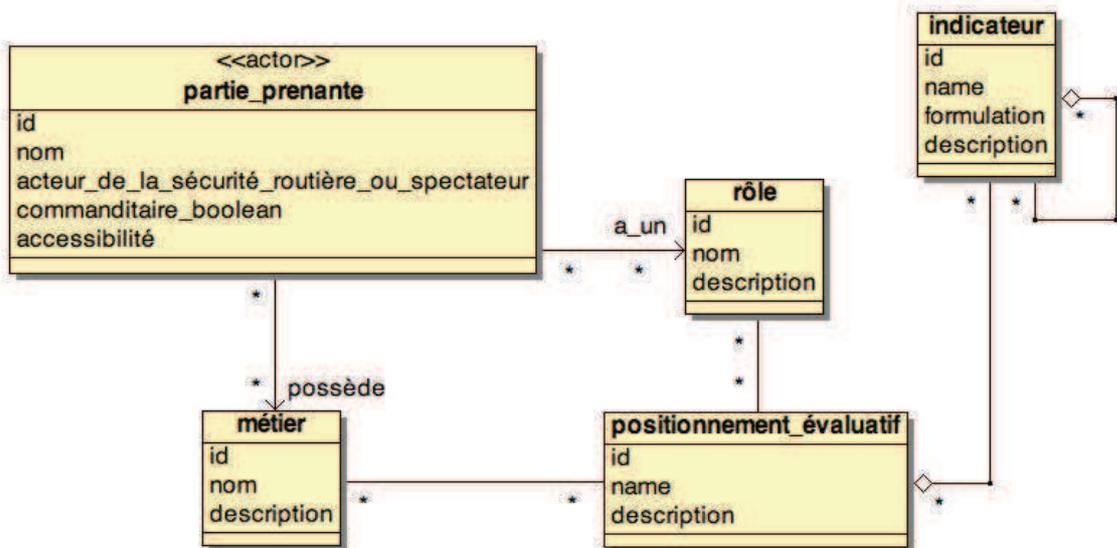


Figure 9.3 - Diagramme de classes – Positionnement évaluatif

Exemple 9.2 - Exemple des positionnements évaluatifs pour un conducteur de véhicule dans le cas d'une évaluation des systèmes C2X.

La liste de la Figure 9.4 fournit quelques-uns des indicateurs élémentaires renseignant les positionnements évaluatifs. C'est une liste ouverte qui va évoluer au fur et à mesure que des évaluations seront réalisées.

Prenons le cas d'une évaluation où la partie prenante « constructeur automobile » se positionne par rapport à des enjeux économiques, de santé publique, et d'environnement. Cela correspond à une définition de son système de valeur. L'évaluateur est alors en mesure d'identifier des indicateurs élémentaires qui pourront lui servir par la suite.

Il est envisageable que cet ensemble de positionnements soit amené à évoluer dans la même évaluation. L'évaluateur peut, après itération, identifier le besoin de considérer également les aspects « technologiques » de la stratégie évaluée.

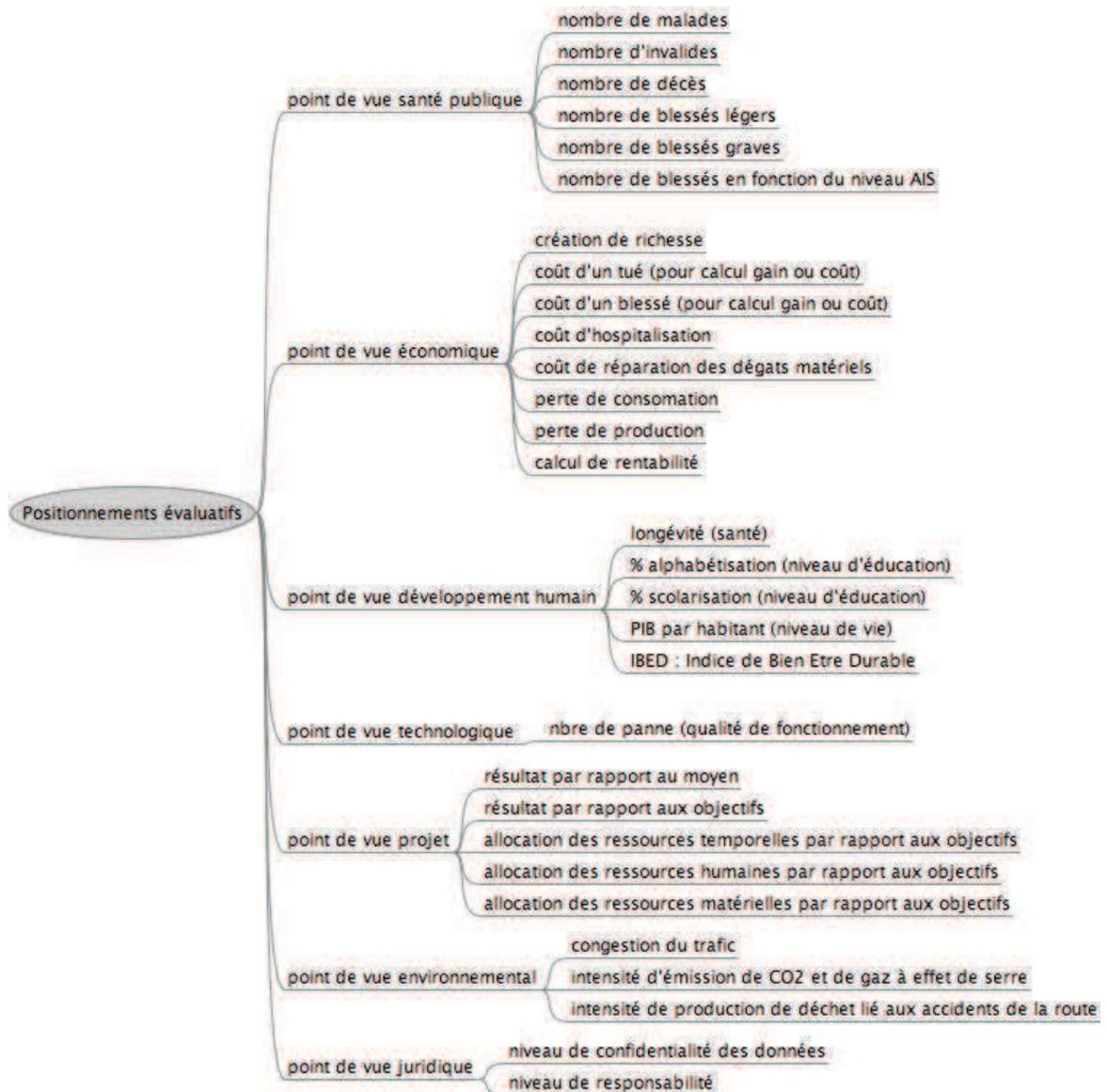


Figure 9.4 - Liste des positionnements évaluatifs

- Requête d'évaluation** (voir Figure 9.5) : expression qui sert à traduire une demande ou un questionnement sur une stratégie de sécurité. Elle renseigne sur la problématique à traiter mais également sur le contexte d'évaluation (partie prenante, description systémique de la stratégie de sécurité évaluée, etc.) et les hypothèses de travail, de compréhension et de résolution. Elle peut soit être exprimée par la partie prenante qui a alors un rôle de commanditaire de l'évaluation, soit formalisée par l'évaluateur qui fait la retranscription des besoins de parties prenantes qui sont susceptibles d'interagir avec la stratégie de sécurité considérée mais qui ne s'expriment pas directement en termes de requêtes (exemple des usagers de la route). La structure de la requête est utilisée comme questionnaire pour les commanditaires. On trouvera dans les documents complémentaires une présentation du formulaire qui permet la formalisation des requêtes (voir document 3).

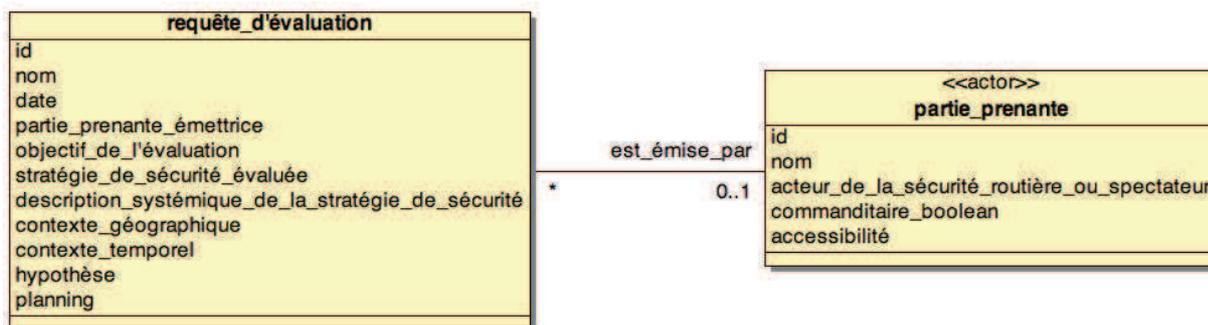


Figure 9.5 - Diagramme de classes – Requête d'évaluation

- **Objectif** (voir Figure 9.6 et Exemple 9.3) : le terme d'objectif renseigne l'axe téléologique des problèmes d'évaluation. Chaque problème existe pour répondre à un objectif bien précis. C'est par exemple la partie prenante « commission européenne » qui a pour objectif d'identifier les actions de sécurité primaires les plus prometteuses afin d'allouer des budgets de recherche. A cet objectif, on peut associer le problème : « comment classer les actions de sécurité ? ».
- **Problème d'évaluation** (voir Figure 9.6 et Exemple 9.3) : expression qui renseigne sur ce qui doit être pris en compte pour la conception et la réalisation de l'évaluation. Sa résolution permet de répondre aux attentes de la partie prenante qui lui est associée. C'est une notion récursive qui peut être constituée de sous problèmes (il est parfois nécessaire de décomposer les problèmes afin d'arriver à un indicateur calculable). Sa formulation est dépendante d'hypothèses (limite et contrainte) qui sont issues des parties prenantes et qui ont une influence sur la réalisation de l'évaluation mais aussi sur sa génétique (lien entre les l'évolution des hypothèses et l'évolution de la réalisation de l'évaluation). Afin de caractériser les problèmes d'évaluation nous définissons une liste de taxonomies qui sont reliées à une liste de types d'évaluation (voir Tableau 9.1). L'utilisation des types et taxonomies est double. Ils servent tout d'abord à orienter l'évaluateur lorsqu'il doit formaliser les problèmes d'évaluation. Ensuite, ils facilitent la réutilisation des problèmes déjà traités (recherche de similarité dans les typologies et les types – voir chapitre 11). Chacune de ces deux listes est ouverte et a été construite à partir des séances de travail et d'une réflexion avec des experts de l'évaluation en sécurité routière.
- **Cas d'évaluation** (voir Figure 9.6) : ce concept permet par la suite de faciliter la gestion et la réutilisation des données. Une même évaluation peut porter sur une stratégie de sécurité, sur plusieurs problèmes ainsi que sur plusieurs requêtes.

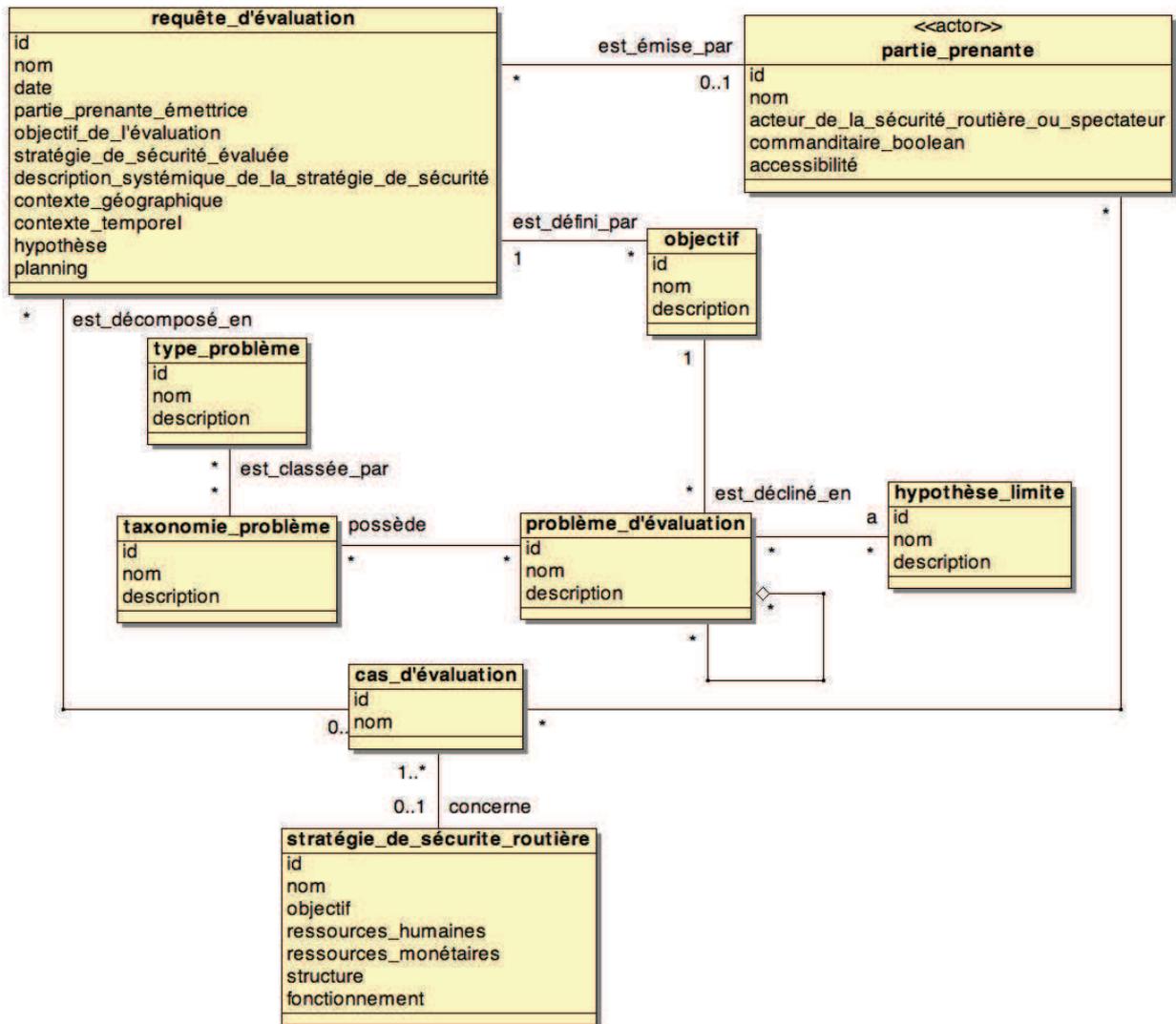


Figure 9.6 - Diagramme de classes – Problème d'évaluation et objectif

Tableau 9.1 - Liste des taxonomies (ligne) et des types (colonne) de problèmes

	Sélection	Validation	Comparaison	Catégorisation	Mesure	Décision	Optimisation
Sélection d'une action de sécurité routière parmi un ensemble de possibilités							
Sélection d'une action de sécurité routière (pas de comparaisons avec des alternatives)							
Sélection d'un sous ensemble d'actions de sécurité par rapport à un autre sous ensemble							
Valider / vérifier une action de sécurité routière par rapport à des attentes, des hypothèses, des croyances,...							
Décider de la diffusion/l'extension de l'utilisation d'une action de sécurité routière							
Travailler à optimiser/améliorer l'action de sécurité routière par rapport à une caractéristique ou par rapport à un ensemble de caractéristiques. Il peut aussi s'agir de trouver le meilleur paramétrage ou le meilleur package d'actions de sécurité							
Construire une échelle et un outil de notation pour une action de sécurité (besoin de déterminer les tests de notation adéquats)							
Déterminer ce qu'il reste à faire pour améliorer la sécurité routière							
Déterminer si on peut enlever un élément d'une stratégie de sécurité avec des contraintes spécifiques							
Déterminer si une action de sécurité peut être remplacée par une autre							
Etablir un positionnement ou une comparaison avec un concurrent							
Construire une liste des actions classées par ordre de priorité							

Exemple 9.3 - Exemple d'objectif et de problème d'évaluation

Nous utilisons les connaissances déjà formalisées dans les deux exemples précédents. Un problème d'évaluation sur les systèmes C2X pour la partie prenante « Constructeur automobile » est détaillé.

L'un des objectifs d'un constructeur automobile est de décider du lancement d'un projet de développement des systèmes C2X. Pour se décider, il prend en considération des informations qui concernent l'environnement, la santé publique et l'économie.

Cette rapide description de son objectif permet de formuler le problème d'évaluation suivant : comment spécifier et calculer la performance des systèmes C2X par rapport à des considérations environnementales, économiques et sécuritaires ?

9.3. Méta-modèle pour la modélisation des stratégies de sécurité

Cette section a comme objectif de présenter la deuxième partie de la phase d'analyse du cas d'étude. Elle est focalisée sur la modélisation multipoints de vue des stratégies de sécurité routière en interaction avec un contexte. L'objectif est, pour l'évaluateur, d'arriver à fournir un modèle pertinent de la stratégie de sécurité qu'il évalue et qui peut être caractérisée de complexe. Le point de départ de la modélisation est défini par les informations issues de la requête.

Cette approche de modélisation a une double finalité : elle sert à construire des modèles qui rendent intelligibles les stratégies de sécurité et à structurer ces modèles pour qu'ils soient ensuite utilisés dans la phase de génération des indicateurs d'évaluation.

Nous proposons une approche architecturée autour de concepts que l'évaluateur a en charge de détailler au fur et à mesure qu'il avance dans la réalisation de la phase de modélisation du cas d'étude. Il s'agit des concepts suivants : « stratégie de sécurité », « action de sécurité » et « contexte ».

9.3.1. Les concepts

- **Stratégie de sécurité** (voir Figure 9.7) : décrit la coordination des actions de sécurité mises en œuvre afin d'atteindre un objectif précis. Dans certains cas, la stratégie peut se limiter à une seule action de sécurité.

Une stratégie de sécurité est caractérisée par son nom, son ou ses objectifs, les moyens humains et financiers à mettre en œuvre pour sa réalisation, sa structure et son fonctionnement. Elle est décomposée en une ou plusieurs **actions de sécurité** et elle est réalisée dans **un contexte**.

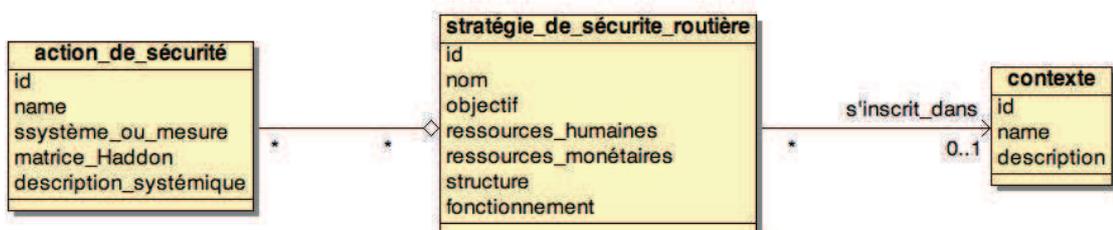


Figure 9.7 - Diagramme de classes – Stratégie de sécurité, action de sécurité et contexte

- **Action de sécurité** (voir Figure 9.7) : c'est l'élément structurel qui est utilisé pour la décomposition des stratégies de sécurité. Il peut s'agir d'une mesure de sécurité (loi, plan de formation, réglementation, etc.) ou d'un système technologique de sécurité (ceinture de sécurité, ABS, airbag, etc.). Ce concept est caractérisé par la matrice de Haddon [Haddon Jr, 1972] que l'on présente dans le Tableau 9.2. Cette matrice sert à catégoriser les actions de sécurité en fonction de leur impact en termes de sécurité (primaire, secondaire ou tertiaire) et en fonction de la cible (usager, infrastructure et véhicule).

Tableau 9.2 - Matrice de Haddon et exemples de positionnement de l'ESC, système d'appel d'urgence embarqué et la ceinture de sécurité

	Sécurité primaire (avant le crash)	Sécurité secondaire (pendant le crash)	Sécurité tertiaire (après le crash)
Véhicule	ESC	Airbags	Système d'appel d'urgence embarqué
Infrastructure	Bandes réfléchissantes	Rail de sécurité	
Usager		Ceinture de sécurité	

- **Contexte** (voir Figure 9.7) : ensemble des éléments qui encadrent la stratégie de sécurité et qui impactent son fonctionnement et sa transformation. Il renseigne par exemple sur la population ciblée (âge, répartition en fonction des catégories d'utilisateur, etc.), sur des considérations économiques, sur l'infrastructure, etc.

Exemple 9.4 - Modèle de la stratégie de sécurité basée sur les systèmes C2X

La stratégie que nous modélisons concerne les constructeurs automobiles et concerne la mise en œuvre des systèmes de communication C2X. L'objectif de cette stratégie est de déployer les systèmes de communication dans 80% des véhicules à l'horizon 2025. Pour cela les constructeurs utilisent des moyens humains (équipes d'ingénieurs et de techniciens) et des moyens financiers. Ces moyens sont utilisés sur des projets en interne et en collaboration avec des laboratoires de recherche extérieurs (structure et fonctionnement).

Le contexte de cette stratégie concerne (1) la mise à disposition par la commission européenne d'une bande de fréquence, sous certaines conditions, pour les communications car to x et (2) le développement des technologies permettant la communication sans fils entre plusieurs émetteurs/récepteurs.

9.3.2. La structuration des concepts pour la modélisation

Aux trois concepts présentés précédemment, nous ajoutons deux concepts qui sont « élément » et « lien » (voir Figure 9.8). L'utilisation de l'ensemble de ces concepts permet la construction d'un méta-modèle pour la construction de modèles systémiques, multipoints de vue et multiniveaux de granularité (permet la décomposition d'un élément en sous éléments – voir encadré dans l'Exemple 9.5). Nous détaillons ces

- **Élément** (voir Figure 9.8) : entité qui instrumente les aspects systémiques des actions de sécurité et des contextes. C'est par exemple l'élément « capteur de vitesse » qui instrumente l'aspect ontologique de l'ESC d'un point de vue ingénieur. Chaque élément est caractérisé par une typologie (concept « type_élément » - voir Figure 9.8), nous en proposons quatre (voir Tableau 9.3) :

Tableau 9.3 - Liste des types d'élément pour la modélisation

Composant : élément descriptif utilisé pour définir une ontologie.
Modèle : énoncé qui a une valeur logique et qui est utilisé afin de décrire le fonctionnement, la transformation et la finalisation d'un élément ou d'un ensemble d'éléments. Il s'agit par exemple des modèles que l'on utilise pour définir le fonctionnement d'un système technologique.
Concept de modélisation : idée abstraite sans valeur logique qui se détache d'un phénomène réel et qui est utilisée par d'autres éléments tels que les modèles (exemple du concept de « rupture » dans le modèle séquentiel utilisé pour la compréhension des accidents).
Caractéristique : attribut qui caractérise l'ensemble des éléments modélisés. Par exemple, le composant capteur vitesse est caractérisé par un prix, un résultat (une valeur estimée de la vitesse), des ressources de fonctionnement, une tension nominal nécessaire, etc.

- **Lien** (voir Figure 9.8) : concept utilisé pour caractériser les interactions entre les éléments, et entre les éléments et les actions de sécurité et les contextes. La caractérisation des liens intègre le choix de l'axe systémique ainsi que le choix du métier (c'est la transcription de la notion de point de vue) pour la modélisation. Les caractéristiques des liens servent à la construction

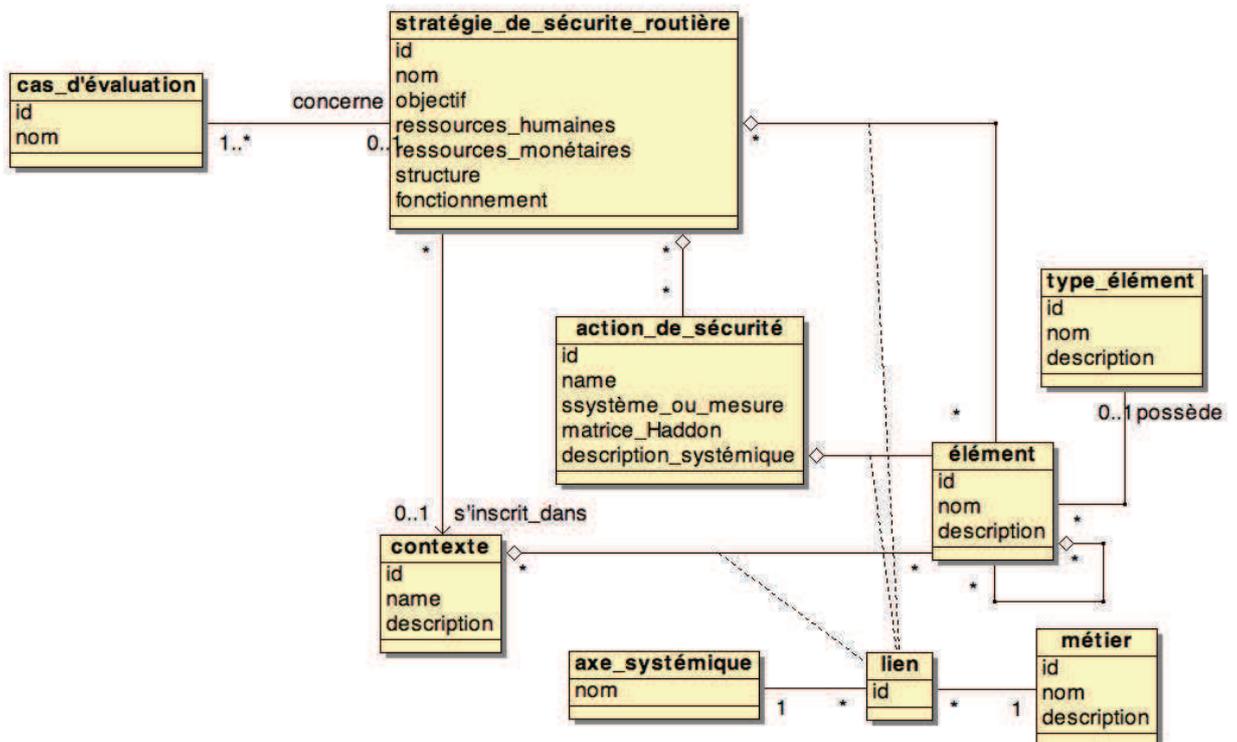


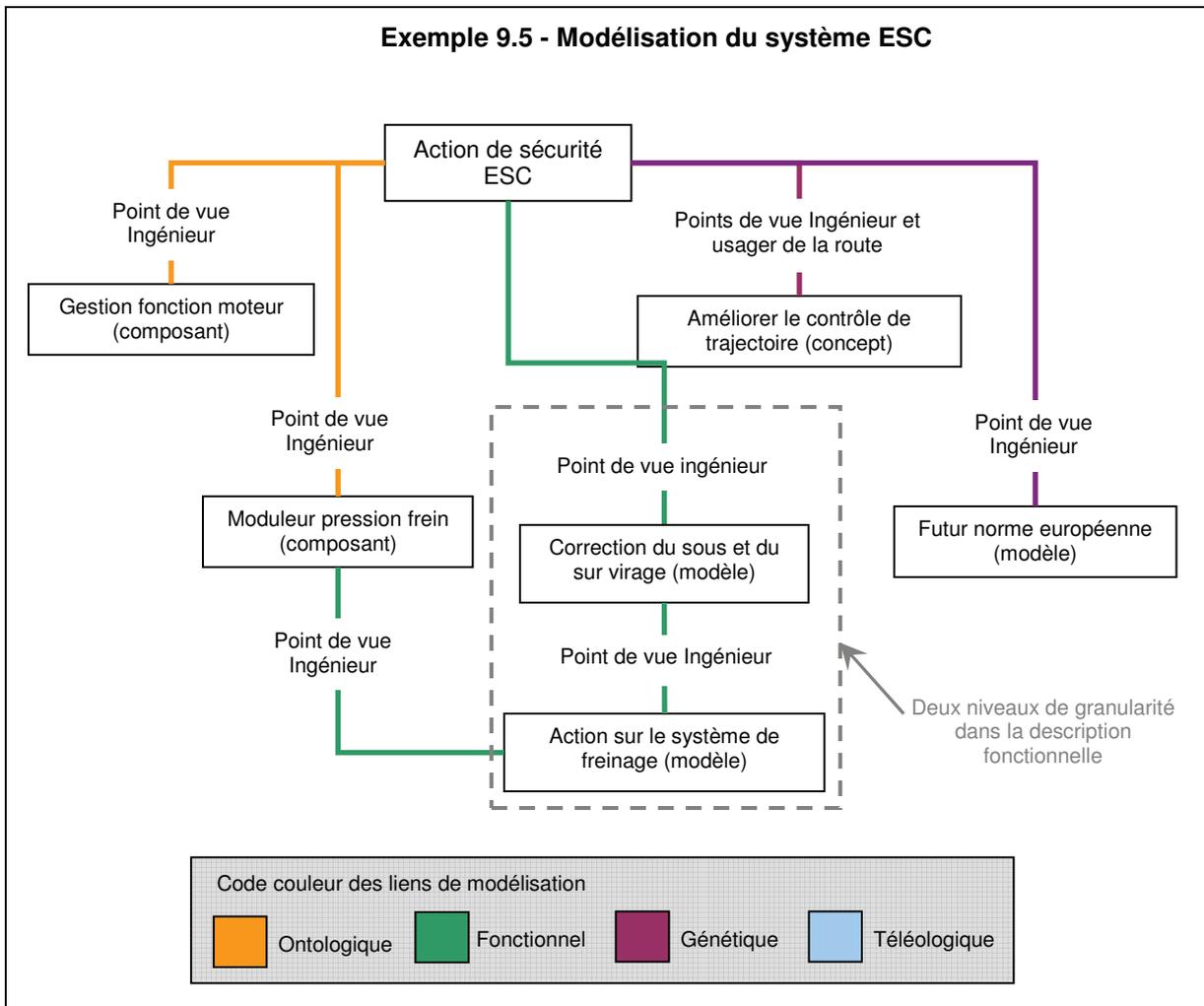
Figure 9.8 - Diagramme de classes – Structure du méta-modèle de description des stratégies de sécurité

Nous illustrons la structure de ce méta-modèle de modélisation des stratégies de sécurité (voir Figure 9.8) à l'aide de deux exemples.

L'Exemple 9.5 est un modèle partiel de l'ESC. Chaque élément est défini et caractérisé à l'aide des types que nous avons présentés auparavant. De la même façon, chaque lien est caractérisé par l'axe systémique et par le ou les métiers (points de vue) auxquels ils font référence pour la modélisation. La multi granularité est illustré par la décomposition du modèle de fonctionnement expliquant « la correction du sur et sous virage ».

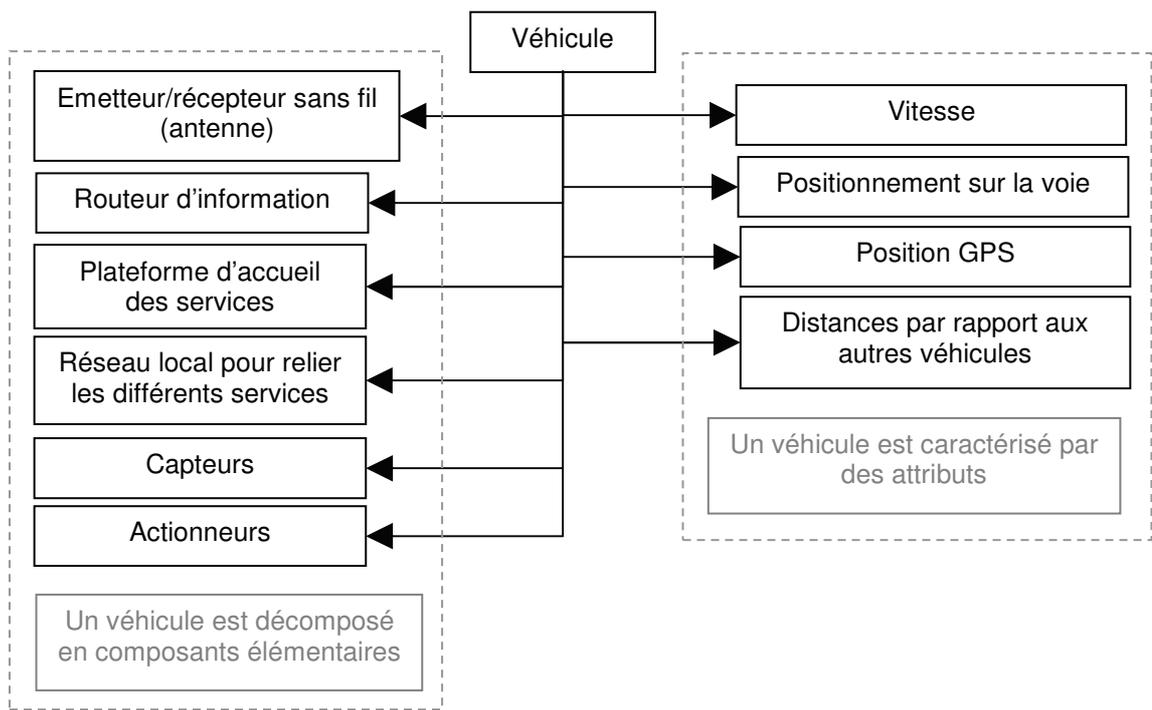
L'Exemple 9.6 et l'Exemple 9.7 sont des modèles partiels des systèmes de communication C2X. Le premier expose un modèle structurel d'un véhicule (élément lié au C2X). Le second détaille

Cet exemple vient en complément de l'exemple sur la modélisation de la stratégie de sécurité associée aux systèmes C2X.

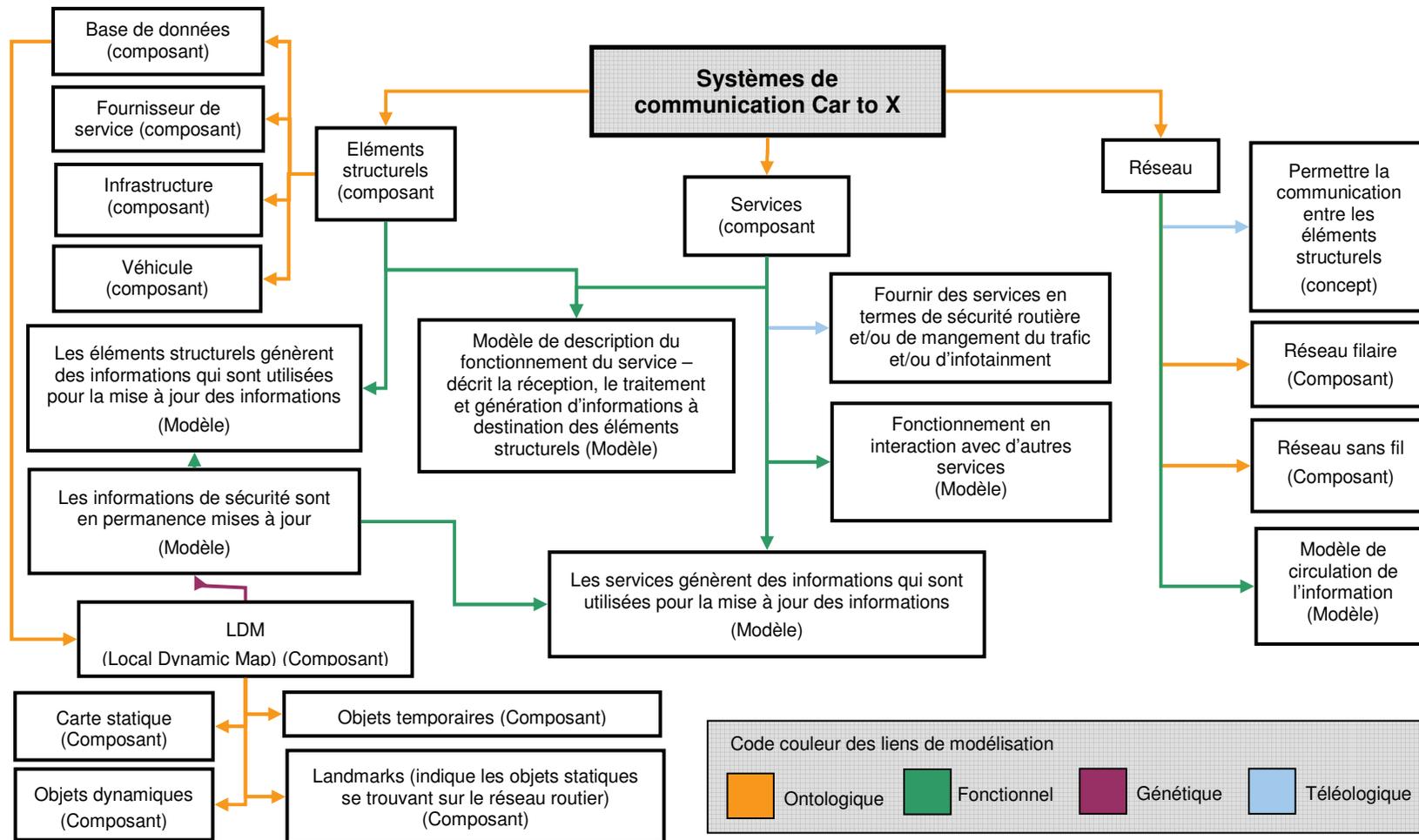


Exemple 9.6 - Description générique et structurale d'un véhicule considéré comme élément des systèmes de communication C2X

La stratégie de sécurité basée sur l'utilisation des systèmes de communication C2X est décomposable. Nous proposons ici une description générique et simplifiée des véhicules faisant partis de cette stratégie (un véhicule est un élément de la stratégie). Nous voyons à travers cet exemple que la décomposition d'un véhicule permet la construction d'un modèle pour la communication et la réflexion. Cependant, cela ne nous dit pas comment le tout fonctionne. La décomposition en éléments simples n'est pas la solution lorsque l'on cherche à appréhender le fonctionnement global d'une stratégie avec des besoins de compréhension et d'anticipation.



Exemple 9.7 - Modèle des systèmes de communication « car to x »



9.4. Synthèse

Ce chapitre présente la partie structurelle/ontologique du méta-modèle qui est utilisée pour la **phase d'analyse des cas d'évaluation**. Ce méta-modèle a pour objectif d'améliorer cette phase qui est actuellement réalisée dans les approches expertes d'évaluation. Ces améliorations concernent les interactions entre les évaluateurs et les parties prenantes, la formalisation des objectifs et la modélisation des stratégies de sécurité évaluées.

Ce travail est motivé par notre positionnement vis-à-vis de l'activité d'évaluation. Nous avons posé l'hypothèse que la compréhension de l'ensemble des éléments décrivant un cas d'évaluation permet de guider l'activité de l'évaluateur.

Ce méta-modèle est construit à partir du cadre méthodologique que nous présentons dans le chapitre 8. Sa construction est à la fois basée sur la systémique et sur une approche descendante et ascendante de modélisation.

Le méta-modèle est un réseau de concepts/classes (partie prenante et de leurs attentes, problème d'évaluation, stratégie et action de sécurité) qui renseigne l'ensemble des aspects pertinents pour la modélisation des cas d'évaluation.

Cette partie ontologique du méta-modèle est destinée à être opérationnalisée à l'aide de la partie fonctionnelle du méta-modèle et d'outils à destination des évaluateurs. Nous présentons ces modèles et outils dans le chapitre 11.

Chapitre 10. Modélisation des indicateurs d'évaluation

Nous présentons dans ce chapitre la modélisation des indicateurs d'évaluation sur laquelle nous basons les approches pour leur génération (réutilisation et conception – voir chap. 12 pour plus de détails). Ce modèle concerne une partie structurale/ontologique du méta-modèle de l'activité d'évaluation. Cela vient compléter la première partie présentée dans le chapitre 8.

Le chapitre est organisé en trois sections. La première consiste à revenir en détails sur les motivations de l'approche de modélisation des indicateurs. Les deux autres sections concernent la définition détaillée et générique des indicateurs. L'une est centrée sur la formalisation de ce que représente un indicateur, c'est une définition qualitative. L'autre a pour objectif la formulation mathématique des indicateurs. Ces deux visions sont complémentaires et ont pour objectif de donner une définition globale des indicateurs (voir Figure 10.1).

La description des indicateurs repose sur l'utilisation des diagrammes de classes⁶² (langage UML) et est reliée aux modèles déjà existants (voir chapitre 9).

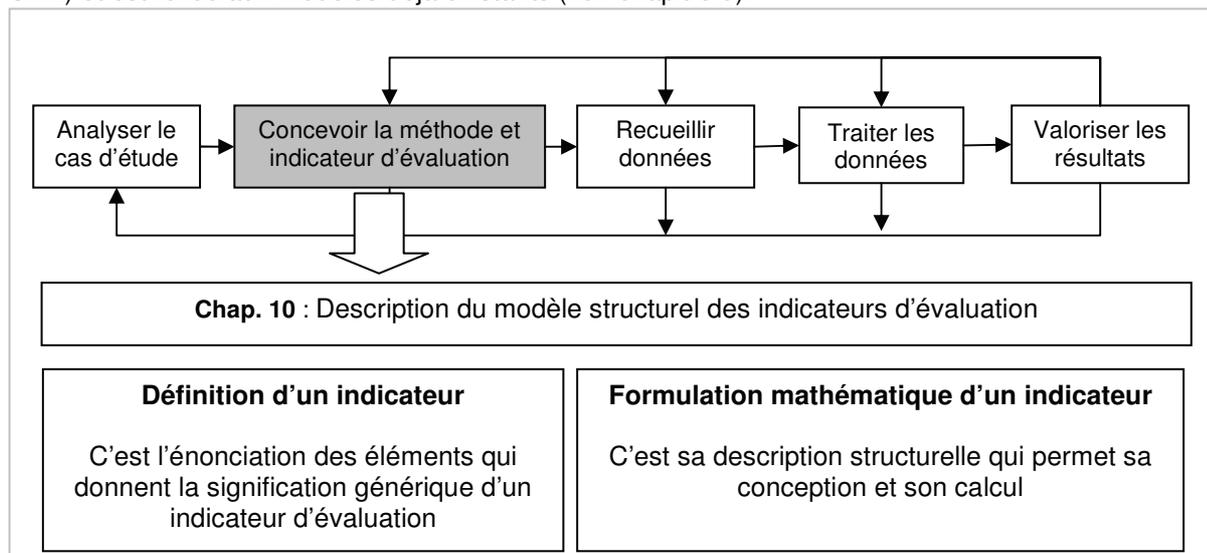


Figure 10.1 - Apport du chapitre par rapport au modèle général de l'activité d'évaluation

⁶² Les diagrammes de classes présentés sont destinés à la description générale des concepts. Dans la configuration actuelle, ils ne sont pas directement utilisables pour la conception d'un outil logiciel opérationnel. Nous avons choisis de définir les multiplicités de façon à ce qu'elles rendent compte de façon réaliste des associations entre les concepts. Un travail sur les multiplicités est donc nécessaire afin de passer à l'opérationnalisation. Il s'agit principalement de proposer des multiplicités qui rendent possible la déclaration d'items sans nécessiter l'existence a priori d'autres items (problème relatif aux relations « 1...n »). Nous faisons donc la différence entre les diagrammes de classes conceptuels pour la compréhension et les diagrammes de classes opérationnels qui sont à destination des développeurs.

10.1. Motivations et objectifs de la modélisation des indicateurs d'évaluation

Notre approche pour la génération des indicateurs est basée sur les capacités des évaluateurs, les modèles théoriques et les modèles du cas d'évaluation (voir Figure 10.2). Les indicateurs générés par cette approche sont donc relatifs aux évaluateurs (plusieurs solutions possibles lorsqu'il y a plusieurs évaluateurs) et au cas d'évaluation traité. Pour rendre opérationnelle cette approche, nous avons besoin d'un méta-modèle des indicateurs. Celui-ci est une définition de ce qu'ils doivent générer.

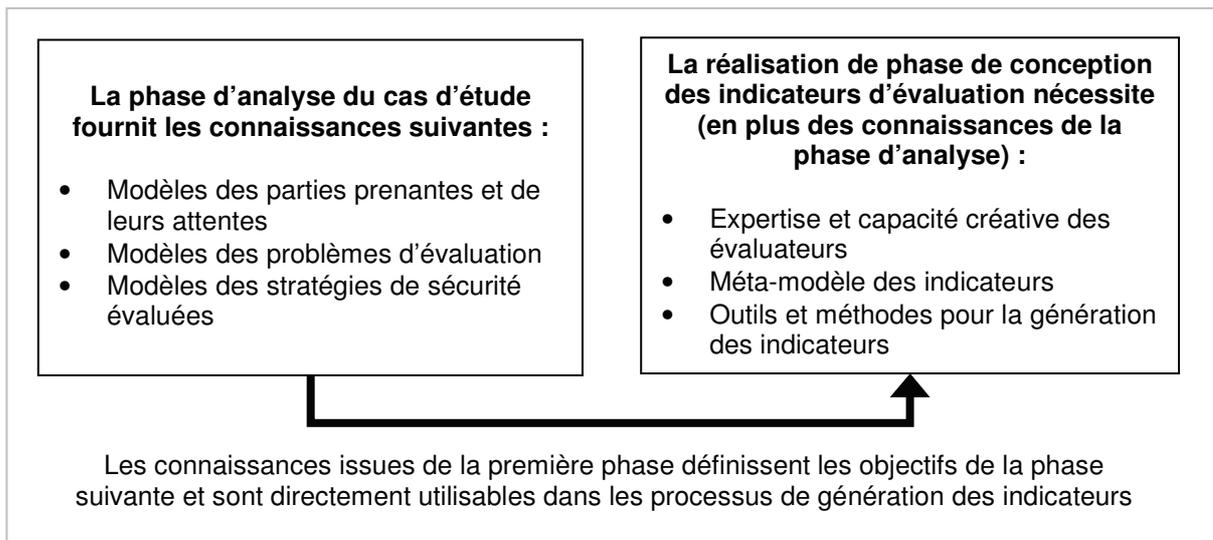


Figure 10.2 - Lien entre les phases d'analyse du cas d'étude et de conception des indicateurs d'évaluation

10.2. Proposition d'une définition d'un indicateur

Pour commencer, il est indispensable de définir la notion d'indicateur. Cette définition est basée sur les quatre dimensions systémiques dans l'objectif d'en fournir une description complète :

Définition 10.1 - Indicateur. C'est un objet définissable mathématiquement. Il renseigne de façon objective sur la performance d'une stratégie de sécurité et a pour objectif d'aider son destinataire à réaliser son activité. Son calcul nécessite l'utilisation d'outils, de données, et de méthodes. Son évolution est liée aux modifications du cas d'évaluation traité et aux changements des hypothèses, des contraintes, des moyens de calculs et du contexte d'évaluation.

Premièrement, un indicateur est une formulation mathématique qui est basé sur une composition de différents éléments (métrique, indicateur élémentaire et attribut). Les choix faits par l'évaluateur lors de sa construction sont justifiés par les hypothèses et les contraintes du cas d'évaluation. Nous détaillons l'ensemble de ce point dans la section suivante.

Deuxièmement, un indicateur est utilisé pour mesurer de façon objective la performance d'une stratégie de sécurité dans l'objectif d'aider le destinataire à réaliser son activité. Cette performance peut être définie suivant plusieurs dimensions. Il est par exemple possible de chercher

une performance globale d'une stratégie en considérant la conjonction d'une performance en santé publique et une performance économique (voir partie II). Nous rappelons qu'un indicateur a une finalité par rapport à une partie prenante (le destinataire de la valeur de l'indicateur). Son utilisation permet la réalisation d'activités telles que la prise de décision, la conception, l'optimisation, etc.

Troisièmement, le calcul des indicateurs nécessite des outils, des méthodes et des données. L'utilisation d'un indicateur dépend directement de l'existence ou de la disponibilité de ces trois éléments. Néanmoins, nous estimons que la génération d'indicateurs incalculables (manque un ou plusieurs de ces trois éléments) permet d'identifier des pistes d'investigation sur les outils opérationnels. C'est par exemple le besoin de développer de nouvelles méthodes de recueil de données (nouvelles données à collecter, changements des outils de mesure ou encore utilisation des outils existants dans d'autres zones géographiques).

Enfin, un indicateur est un objet qui peut être amené à évoluer au cours du temps. Cela s'explique par l'évolution du cas d'évaluation : stratégie qui change et/ou attentes des parties prenantes qui changent et/ou problèmes d'évaluation qui changent. Notre définition de l'indicateur implique que de tels changements conduisent à sa révision. Nous l'expliquons également par l'évolution des contraintes et hypothèses ainsi que des moyens de calcul.

Nous intégrons le concept d'indicateur dans le modèle conceptuel que nous avons déjà en partie présenté dans le chapitre précédent (voir Figure 10.3). Un indicateur répond à un ou des problèmes, est destiné à une ou plusieurs parties prenantes et son utilisation est associée à une ou plusieurs évaluations. Il est donc lié avec le concept de partie prenante, celui de problème d'évaluation et celui d'évaluation. Ces liens servent à mémoriser les informations concernant le contexte et l'utilisation des indicateurs. Il est alors possible de réutiliser des indicateurs (on recherche des indicateurs pour des cas d'évaluation similaires). Malgré le lien existant entre les concepts de problème d'évaluation et de partie prenante, il n'y a pas de redondance. Il faut être en mesure de pouvoir différencier des indicateurs qui répondent à un même problème mais qui sont destinés à des parties prenantes différentes et qui ont donc des exigences différentes en termes d'informations.

Les deux autres concepts que sont le positionnement évaluatif et la stratégie de sécurité routière sont reliés à l'indicateur de façon indirecte par les liens déjà existants. Il n'est pas nécessaire de construire de nouveaux liens qui seraient redondants.

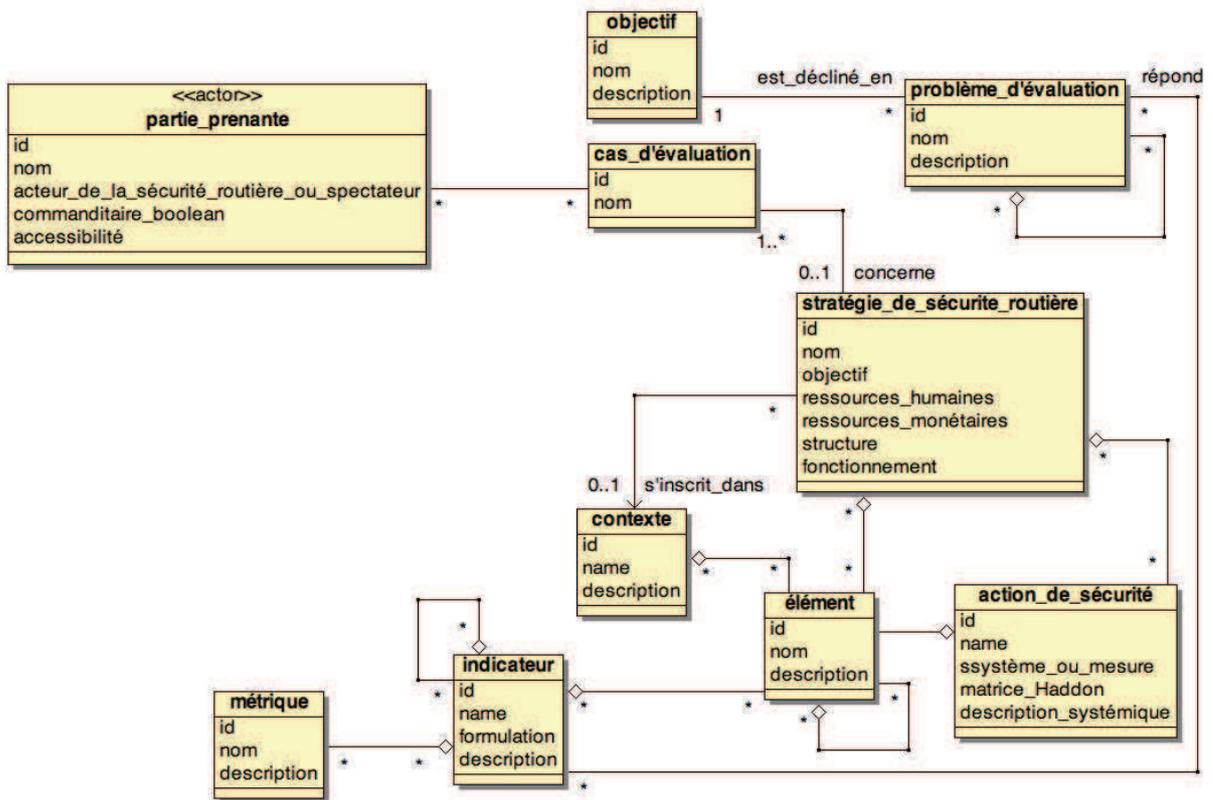


Figure 10.3 - Intégration du concept d'indicateur dans le modèle conceptuel

10.3. Description mathématique des indicateurs d'évaluation

Nous proposons un modèle mathématique des indicateurs qui est basé sur une utilisation des données issues de la modélisation de la stratégie de sécurité routière, des positionnements évaluatifs et des indicateurs existants.

A partir de la définition donnée précédemment, nous détaillons trois notions qui permettent d'aborder la constitution des indicateurs, il s'agit de la « *métrique* », de « *l'indicateur élémentaire* » et de « *l'élément de modélisation* ».

10.3.1. La métrique

Le premier concept nécessaire à la construction des indicateurs est la « *métrique* ». Il est utilisé pour définir les différentes possibilités de mesure. Il est formalisé tel que :

M = ensemble des métriques ou mesures telles que : nombre, pourcentage, vitesse, force, température, pression, coût, etc.

$$M = \{m \text{ est une métrique}\}$$

Les métriques sont les briques élémentaires qui n'ont aucun sens lorsqu'elles sont considérées individuellement. La métrique « *vitesse* » n'a pas de signification. Il est nécessaire de l'associer avec un autre concept. Par exemple, le terme « *vitesse d'un véhicule* » peut avoir une signification en évaluation.

10.3.2. Indicateur élémentaire et indicateur

Nous proposons une définition récursive des indicateurs. Il est possible de décrire un indicateur par la composition des autres indicateurs. Cette définition implique l'existence d'indicateurs de bas niveau, ce sont les indicateurs élémentaires. Ils sont irréductibles et sont liés à un positionnement évaluatif (voir ci-dessous).

Pour utiliser ces indicateurs élémentaires, nous les connectons à un ou plusieurs positionnements évaluatifs. Ces derniers sont les différents domaines liés à la sécurité routière (santé publique, technologique, économique, politique et environnemental – voir chap. 9).

L'importance de cette association est la création d'un lien entre les intervenants et les indicateurs élémentaires. En effet, un intervenant a au moins un positionnement. Par conséquent, les évaluateurs peuvent identifier les indicateurs élémentaires utiles pour une partie prenante spécifique. Cette tâche fournit quelques-unes des connaissances nécessaires à la conception des indicateurs.

Nous synthétisons cette structure dans la figure suivante :

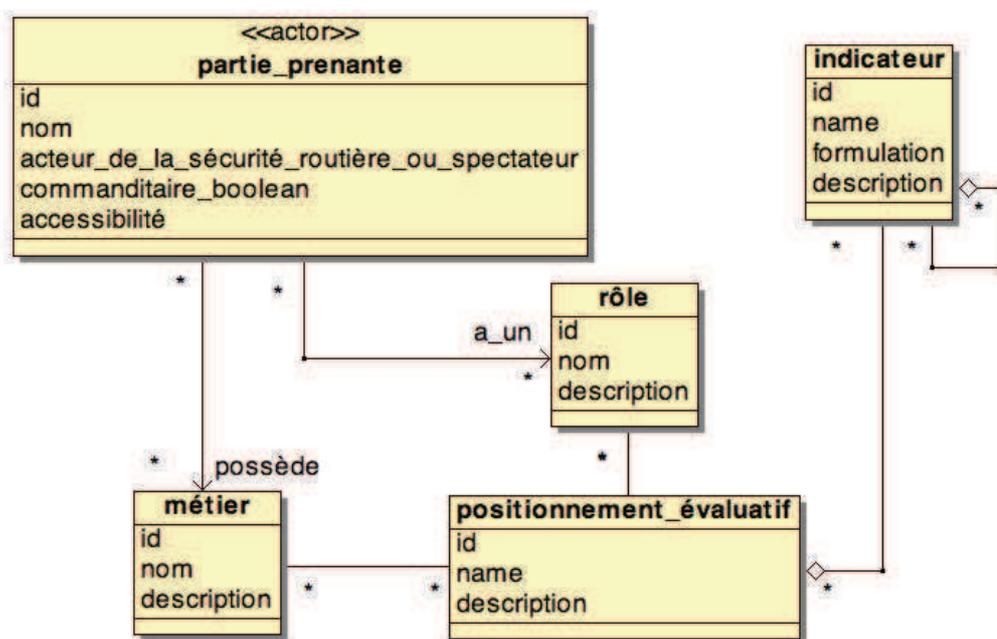


Figure 10.4 - Diagramme de classes – Lien entre indicateurs et positionnements évaluatifs

Deux approches ont été utilisées pour identifier les indicateurs élémentaires.

La première a été de trouver ceux qui existent déjà à travers l'analyse des pratiques en sécurité routière. Ce travail a permis la construction d'une liste (voir Figure 9.4) et a également été utile pour la construction du méta-modèle.

La seconde est d'utiliser la structure du méta-modèle pour produire des indicateurs élémentaires. Cela consiste à utiliser les métriques et les éléments qui décrivent la stratégie de sécurité évaluée et son contexte. Par exemple, le terme « nombre de tués », qui est la composition

d'une métrique (un nombre) et d'un élément de modélisation (tués), est défini comme un indicateur élémentaire.

Nous définissons les éléments de modélisation et les indicateurs élémentaires comme suit :

Elt = tous les éléments qui constituent les modèles des stratégies de sécurité et de leur contexte

$$Elt = \{elt \text{ est un élément de modélisation}\}$$

le = ensemble des indicateurs élémentaires qui sont composés de métriques et d'éléments de modélisation. C'est un ensemble inclus dans l'ensemble I (voir la section suivante).

Erreur ! Des objets ne peuvent pas être créés à partir des codes de champs de mise en forme.

Erreur ! Des objets ne peuvent pas être créés à partir des codes de champs de mise en forme.

Enfin, les indicateurs sont définis comme suit :

I = ensemble d'objets composés d'élément(s) de modélisation, d'indicateur(s) élémentaire(s) et d'autre(s) indicateur(s).

Nous résumons la définition en utilisant l'expression suivante :

Erreur ! Des objets ne peuvent pas être créés à partir des codes de champs de mise en forme.

Erreur ! Des objets ne peuvent pas être créés à partir des codes de champs de mise en forme.

Ces définitions sont synthétisées dans la figure suivante :

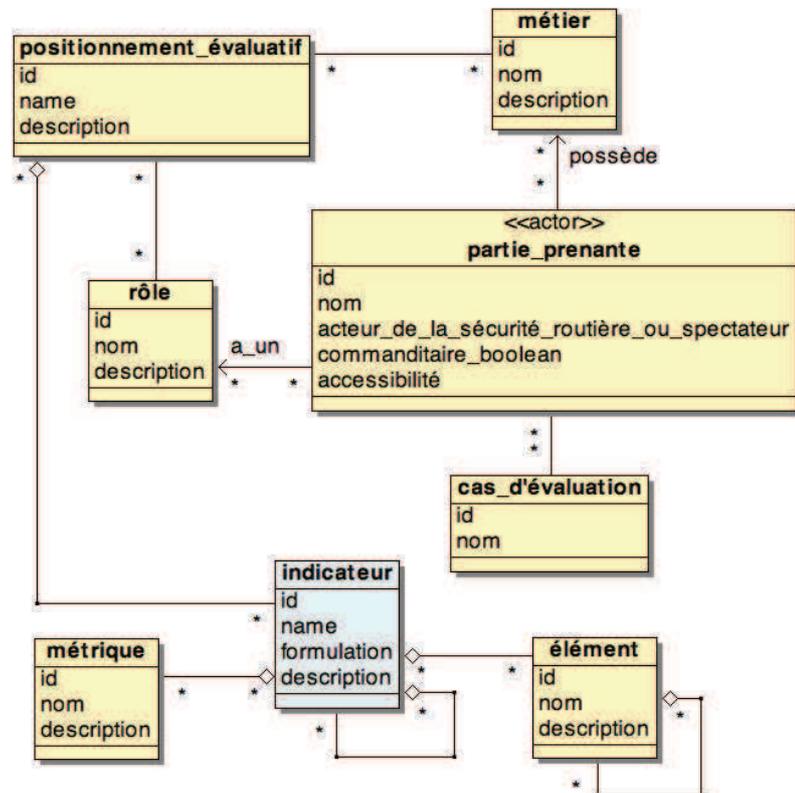


Figure 10.5 - Diagramme de classe avec l'ensemble des concepts reliés aux indicateurs

L'exemple suivant illustre ce formalisme mathématique :

Exemple 10.1 - Indicateur défini suivant le formalisme mathématique proposé

"i1" est un indicateur qui fournit des informations sur le rapport entre le nombre de vies sauvées sur un an et le coût global des différentes stratégies mises en œuvre au cours de cette année. Le terme "*Nombre de décès*" est un indicateur de base que nous considérons en fonction des années (elt de modélisation d'un cas d'évaluation). Il pourrait être associé à un pays, une catégorie de personnes, etc. En ce qui concerne les coûts, nous combinons l'indicateur de base "coût" à toutes les mesures de sécurité (elt de modélisation d'un cas d'évaluation).

Erreur ! Des objets ne peuvent pas être créés à partir des codes de champs de mise en forme.

La construction des indicateurs est basée sur une grammaire de composition (nous la détaillons dans le chapitre 11). Celle-ci permet de relier un formalisme mathématique à des expressions de composition et de variation. Il est alors possible de générer de façon automatique des indicateurs qui peuvent être interprétés littéralement.

10.4. Synthèse

Ce chapitre détaille le méta modèle qui fournit la description ontologique et générique des indicateurs d'évaluation. La construction de ce méta-modèle est basée sur la démarche présentée dans le chapitre 8. Son objectif est de fournir aux évaluateurs une ontologie qui soit utilisable dans la phase de génération des indicateurs (que ce soit pour la réutilisation ou la conception).

Le méta modèle proposé est basé sur la définition systémique des indicateurs. Celle-ci intègre l'ensemble des aspects nécessaires à sa définition, sa construction, son utilisation, son calcul et son évolution. Nous insistons sur la partie ontologique de la définition en proposant une formalisation mathématique. Un indicateur est décrit comme une fonction de divers éléments.

Ce travail de définition permet de compléter le méta-modèle que nous proposons dans le chapitre 9. Un indicateur est une classe que l'on définit par des attributs et par des associations (avec métrique, élément de modélisation et indicateur élémentaire). Les liens avec le méta-modèle existant s'effectuent avec les classes « évaluation », « partie prenante » et « problème d'évaluation ». Il est ainsi possible d'identifier, de concevoir ou de réviser un indicateur de façon pertinente par rapport à un cas d'évaluation donné.

Cette partie ontologique du méta-modèle est destinée à être opérationnalisée à l'aide de la partie fonctionnelle du méta-modèle et d'outils à destination des évaluateurs. Nous présentons ces modèles et outils dans le chapitre 11.

Partie V - Opérationnalisation et mise en œuvre

L'objectif de cette partie est de présenter les activités à mettre en œuvre pour réaliser les évaluations. Ces connaissances opérationnelles sont destinées aux évaluateurs.

Le premier chapitre détaille les activités pour la modélisation des cas d'évaluations. Le deuxième présente les activités qui sont utilisées pour identifier et générer les indicateurs.

Chapitre 11. Application de la modélisation du cas d'évaluation

Ce chapitre détaille les modèles et outils qui sont utilisés pour l'opérationnalisation de la phase d'analyse du cas d'étude (voir Figure 8.5). L'objectif est de fournir aux évaluateurs des connaissances permettant la réalisation de l'ensemble des objectifs de cette phase.

Les connaissances opérationnelles présentées sont de deux types : les modèles fonctionnels qui concernent la partie fonctionnelle des méta-modèles (ou modèles conceptuels) et les outils⁶³ qui rendent possible l'utilisation des méta-modèles par les évaluateurs (logiciel par exemple).

Les propositions de ce chapitre sont focalisées sur la modélisation des attentes des parties prenantes, des problèmes d'évaluation et des stratégies de sécurité évaluées (voir Figure 11.1).

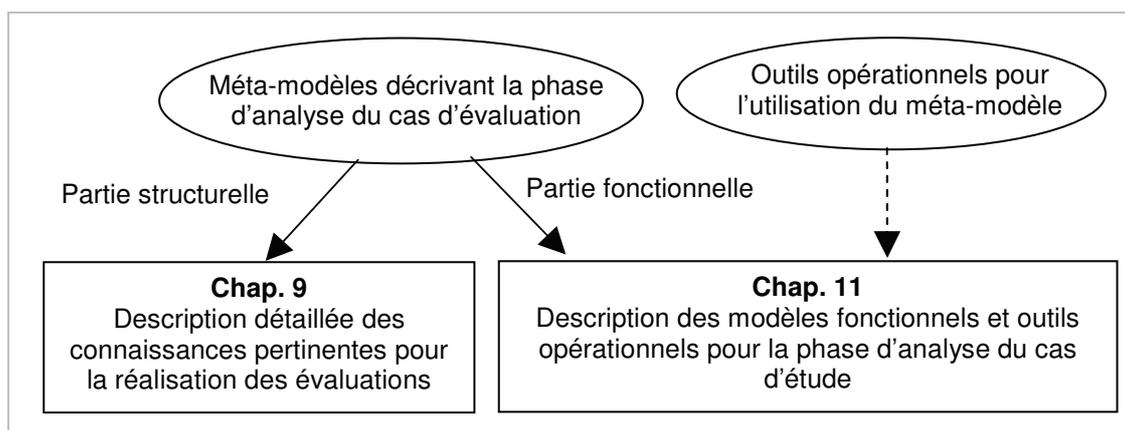


Figure 11.1 - Apports et positionnement du chapitre 11 par rapport au chapitre 9

11.1. Description fonctionnelle de l'approche de modélisation des attentes des parties prenantes et des problèmes d'évaluation

11.1.1. Diagramme pour la déclaration des requêtes d'évaluation

Le diagramme de la Figure 11.2 décrit l'utilisation de la « requête d'évaluation » en fonction de la disponibilité des parties prenantes commanditaires (voir également l'Exemple

⁶³ Ce chapitre est principalement destiné à la présentation des modèles fonctionnels. Nous n'avons pas encore d'outil logiciel qui soit suffisamment développé pour être utilisé par les évaluateurs. Seul des prototypes de systèmes de gestion de base de données ont été construits afin de développer, d'illustrer et de valider nos propositions.

11.1). L'objectif est ici de formaliser une requête qui soit la plus détaillée possible en s'adaptant à la disponibilité de la partie prenante. Dans le cas où elle est disponible, l'évaluateur utilise la structure de la requête comme guide pour interagir avec elle. Deux résultats sont envisageables, une requête complète et incomplète. Cette distinction informe l'évaluateur qu'il doit se focaliser sur les activités de conception du cas d'évaluation lorsque la requête est incomplète (voir section 11.1.3).

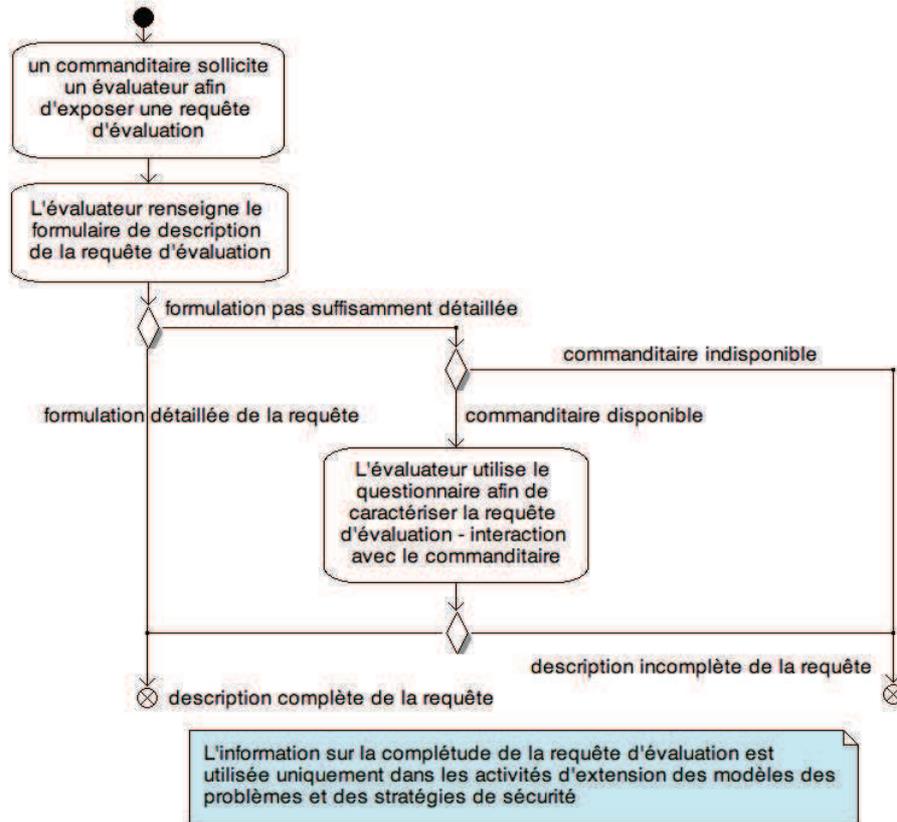


Figure 11.2 - Diagramme d'instrumentation de la requête

Exemple 11.1 - Exemple de description d'une requête d'un constructeur automobile vis-à-vis des systèmes de communication car to X

Description de la partie prenante émettrice de la demande d'évaluation : constructeur automobile

Description du pourquoi de la demande d'évaluation : le constructeur automobile cherche à savoir s'il a intérêt à se lancer dans le développement de cette stratégie de sécurité.

Description de la stratégie de sécurité à évaluer : déploiement des systèmes de communication « car to x » dans les véhicules futurs.

Liste des composants techniques de la stratégie de sécurité : voir Figure 11.3.

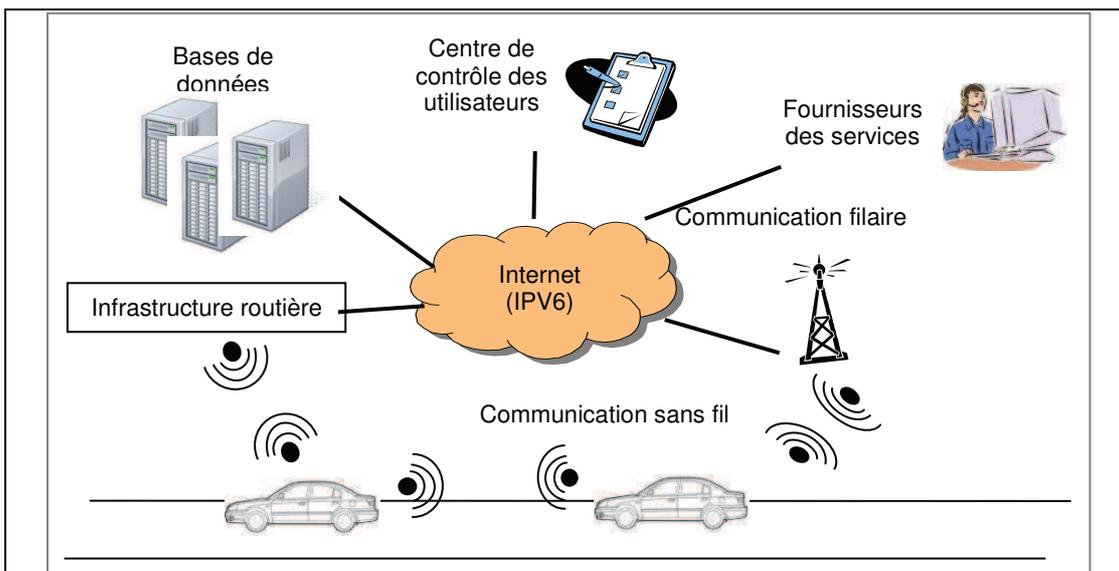


Figure 11.3 - Schéma de l'architecture de communication

Description du fonctionnement de la stratégie de sécurité : la Figure 11.3 montre comment les différents éléments du C2X communiquent les uns avec les autres (c'est un des aspects du fonctionnement).

Description des aspects génétiques de la stratégie de sécurité : -

Description de la (des) finalité(s) de la stratégie de sécurité : les objectifs de la stratégie sont liés à l'amélioration de la sécurité routière, la gestion du trafic et l'infotainment (mixte d'information et de divertissement).

Description du contexte géographique de l'évaluation : l'évaluation est réalisée en Europe

Description du contexte temporelle de l'évaluation : projection dans les 10 années à venir

Liste des hypothèses spécifiées par la partie prenante : la technologie n'est pas développée par le constructeur automobile, prévision de la diffusion des systèmes dans 5 ans : 30% des véhicules neufs,

Planning désiré par la partie prenante : rapport d'évaluation pour le 1/05/2011

11.1.2. Les diagrammes pour la déclaration d'un cas d'évaluation

La Figure 11.4 concerne (1) la déclaration de l'évaluation et (2) l'instrumentation des concepts d'évaluateur, de parties prenantes, de stratégie de sécurité et de positionnement évaluatif. Certains de ces concepts (évaluateur, partie prenante et positionnement évaluatif) sont des listes ouvertes auxquelles il est possible d'ajouter de nouvelles instances. En ce qui concerne la description de la stratégie de sécurité, sa formulation nécessite la contextualisation de la ou des actions de sécurité qui la composent. Exemple de l'ESC (action de sécurité), l'évaluation peut porter sur la stratégie de la rendre obligatoire dans tous les

véhicules neufs à partir de 20XX. Il y a distinction entre une action de sécurité (système ou mesure) et la stratégie de sécurité (implique un contexte de mis en œuvre).

La Figure 11.5 détaille les activités à mettre en œuvre pour déclarer un problème d'évaluation. La première étape consiste à définir un ou plusieurs problèmes d'évaluation. Ce travail, qui est réalisé par l'évaluateur, est basé sur les informations issues de la requête et en particulier celles sur les objectifs du commanditaire/partie prenante (voir Tableau 11.1). L'évaluateur définit un problème d'évaluation dont sa résolution permettra au commanditaire/partie prenante de réaliser ses objectifs. C'est l'évaluateur qui réalise cette tâche car le commanditaire n'a pas toujours les compétences pour formaliser un problème d'évaluation. C'est une tâche faisant partie intégrante de l'activité d'évaluation, elle doit donc être réalisée par un évaluateur.

La deuxième étape consiste à détailler le problème en renseignant sa taxonomie et/ou son type. Nous avons proposé dans la section précédente 12 modalités pour le concept « taxonomie » et 7 modalités pour le concept « type » (voir chapitre 9).

Ce diagramme traite également un aspect important qui est la décomposition des problèmes en d'autres problèmes (concept récursif). Ce processus de décomposition est piloté par l'activité de génération des indicateurs. Dans certains cas où l'évaluateur ne trouve pas d'indicateurs solutions (ou pas calculables), il est envisageable de procéder à une décomposition du problème d'évaluation dans l'objectif de construire des problèmes pour lesquels on peut trouver une solution. En fonction des éléments issus du blocage et du problème initial, l'évaluateur formalise des objectifs qu'il utilise pour construire des problèmes d'évaluation. On retrouve alors le même raisonnement que pour la création d'un problème à partir d'une requête. Il faut cependant toujours réaliser la décomposition en termes de problèmes d'évaluation et non pas en termes de problèmes de résolution de l'évaluation.

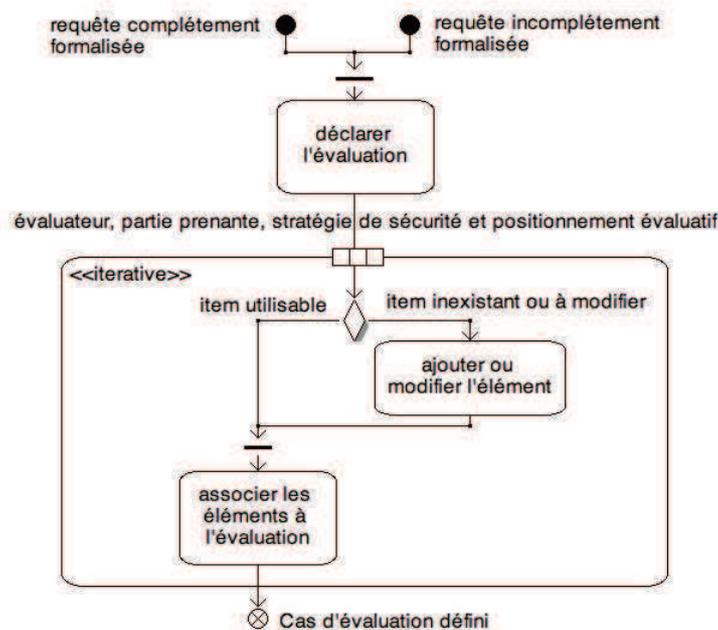


Figure 11.4 - Diagramme de définition de l'évaluation

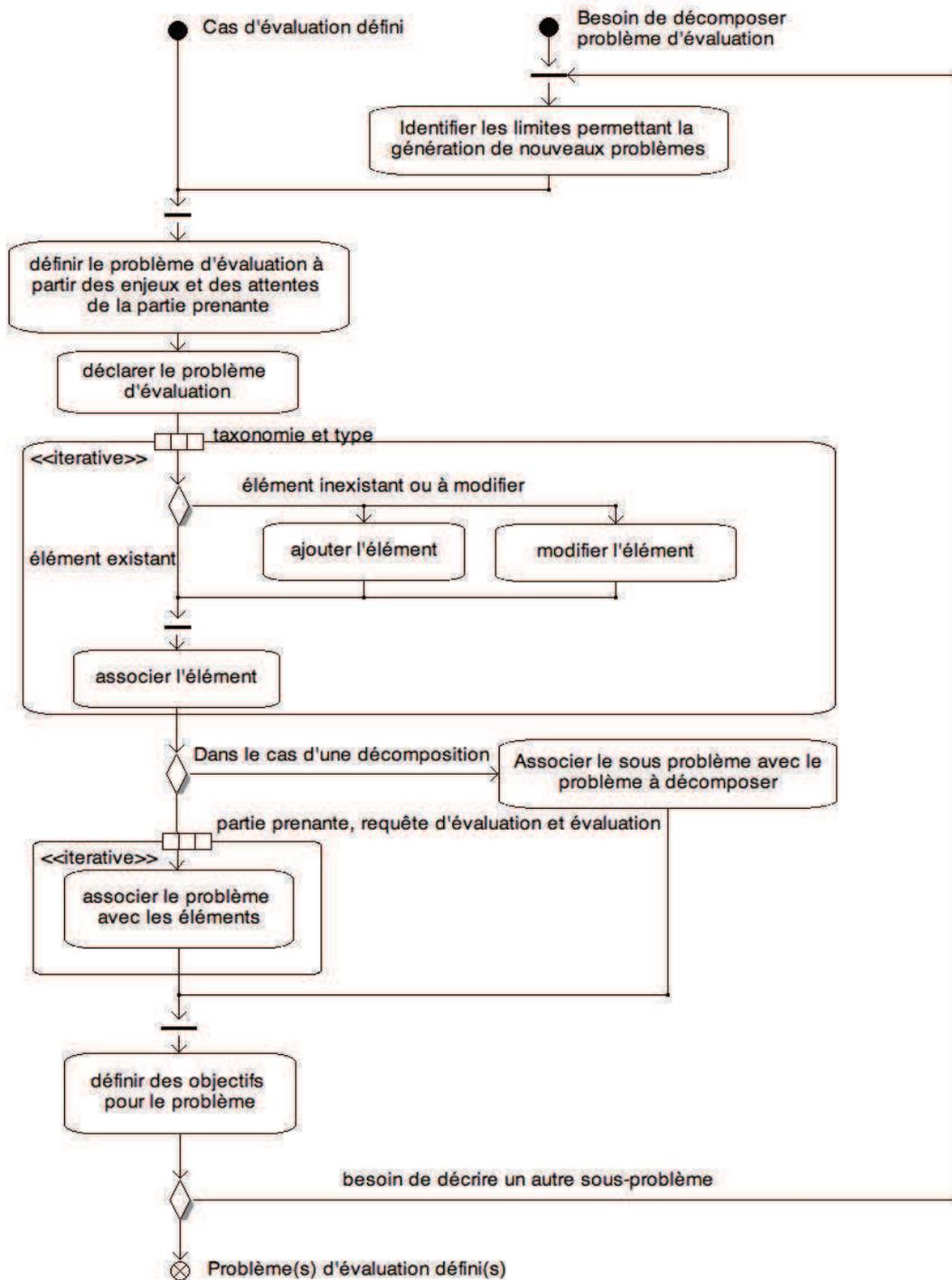


Figure 11.5 - Diagramme de définition du problème d'évaluation.

Tableau 11.1 - Exemple de liste d'enjeux et de problèmes d'évaluation liés aux systèmes de communication « car to X »

Objectifs et enjeux des parties prenantes	Problème(s) d'évaluation associée(s)	Type et taxonomie des problèmes d'évaluation
Créer une solution unique (harmonisation des standards de communication) permettant à tous les véhicules et les éléments de l'infrastructure de communiquer les uns avec les autres d'une manière continue et transparente en utilisant une variété de médias.	Comment choisir la solution qui convient parmi un ensemble de possibilités et qui soit adaptée à tout le monde ?	Types : « sélection » et « comparaison » Taxonomie : « Sélection d'une action de sécurité routière parmi un ensemble de possibilités »
Définir et valider une architecture ouverte, flexible et modulaire qui soit utilisable pour un certain nombre de service et qui permette la coopération en temps réel entre les différents éléments du système routier (l'infrastructure et les véhicules sont les sources et les destinataires de l'information). Cela consiste à développer les technologies suivantes : réseau ad-hoc dynamique, système de localisation précis, une cartographie dynamique du trafic routier.	Est-ce que la solution retenue et développée respecte les spécifications qui ont été définies ?	Type : « validation » Taxonomie : « Valider / vérifier une action de sécurité routière par rapport à des attentes, des hypothèses, des croyances,... »
Développer et tester les services sur des scénarii afin d'évaluer les impacts sur la sécurité routière.	(1) Comment contrôler le processus de conception des services ? (2) Est-ce que les services développés sont valides par rapport aux scénarii ?	(1) Type : « optimisation » (1) Taxonomie : « Travailler à optimiser/améliorer l'action de sécurité routière par rapport à une caractéristique ou par rapport à un ensemble de caractéristiques. Il peut aussi s'agir de trouver le meilleur paramétrage ou le meilleur package d'actions de sécurité » (2) Type : « Validation » (2) Taxonomie : « Valider / vérifier une action de sécurité routière par rapport à des attentes, des hypothèses, des croyances,... »
Elaborer des stratégies de déploiement ainsi que des modèles économiques afin de garantir un déploiement performant des systèmes de communication C2X.	Quelle est la meilleure stratégie de déploiement et quel est le meilleur modèle économique ?	Types : « comparaison » et « sélection » Taxonomies : « sélectionner une stratégie de déploiement parmi un ensemble de stratégie »
Démontrer que les systèmes C2X sont commercialement et techniquement réalisables/utilisables. Il s'agit de traiter les questions portant sur l'acceptation des utilisateurs, la confidentialité et la sécurité des données, l'ouverture et l'interopérabilité du système, les risques et la responsabilité, les besoins des politiques publiques, le rapport coût / bénéfice et les modèles économiques.	(1) Quelles sont les performances de déploiement des systèmes de communication car to x ? (2) Est-ce que les performances de déploiement mesurées sont conformes aux exigences de déploiement ?	(1) Type : « mesure » (1) Taxonomie : « Construire une échelle et un outil de notation pour une action de sécurité (besoin de déterminer les tests adéquats) » (2) Type : « validation » (2) Taxonomie : « Valider / vérifier une action de sécurité routière par rapport à des attentes, des hypothèses, des croyances,... »

11.1.3. Conception et extension des problèmes d'évaluation

La modélisation du cas d'évaluation se heurte parfois à certains problèmes tels que l'indisponibilité de la partie prenante ou encore le manque de formalisation de la requête d'évaluation. Nous ajoutons aussi le besoin d'identifier les parties prenantes qui ne sont pas les commanditaires mais qui peuvent être liées à l'évaluation déclarée (impactées par la stratégie de sécurité, par le problème d'évaluation, par son implication dans la réalisation de l'évaluation, etc.).

Afin de traiter ces besoins, nous proposons des modèles de construction et d'extension des problèmes d'évaluation. La construction implique la création d'un nouveau alors que l'extension signifie l'accroissement de ses propriétés (ajout de sous problèmes, de nouvelles parties prenantes ou d'objectifs).

Nous proposons les trois mécanismes suivants qui abordent à la fois l'extension et la construction (voir Figure 11.6) :

- **L'analyse des cas d'études similaires** : il s'agit d'identifier des cas similaires⁶⁴, à partir d'attributs liés à « la stratégie de sécurité » ou encore à « la partie prenante », qui sont des problèmes déjà traités et que l'on peut réutiliser et/ou adapter au cas actuel. La définition et le calcul de la similarité sont détaillés dans le chapitre 12.
- **L'analyse des représentations systémiques des stratégies de sécurité évaluées**⁶⁵ : elle consiste à analyser la description systémique d'une stratégie de sécurité afin de construire ou d'étendre les problèmes d'évaluation (voir l'Exemple 11.2 et l'Exemple 11.3). Nous proposons une grammaire de variation qui sert pour l'analyse des modèles. Elle est pour le moment basée sur les trois couples suivants : ajout/suppression, agrandir/dégrader et lier/déliier. L'évaluateur est ainsi amené à réfléchir sur de nouveaux problèmes à partir d'une analyse de la stratégie de sécurité évaluée.
- **L'identification de nouvelles parties prenantes** : il s'agit (1) d'identifier des parties prenantes pour lesquelles on peut construire de nouveaux problèmes en considérant la même stratégie de sécurité. Le Tableau 11.2 présente une extension d'un problème sur l'évaluation de l'ESC. La partie prenante « commission européenne » a été ajoutée à un problème déjà existant, elle a une problématique d'évaluation liée à

⁶⁴ La notion de similarité est définie en annexe.

⁶⁵ A ce stade de la modélisation du cas d'évaluation, la description systémique de la stratégie de sécurité n'est pas encore réalisée (voir le chapitre 12 pour plus de détails sur ce point). Ce deuxième mécanisme ne peut donc être utilisé que dans certaines conditions liées à l'avancement dans la modélisation du cas d'étude.

la réglementation sur l'ESC. En (2), il s'agit d'identifier des parties prenantes auxquelles on peut associer des problèmes déjà existants (extension des caractéristiques d'un problème).

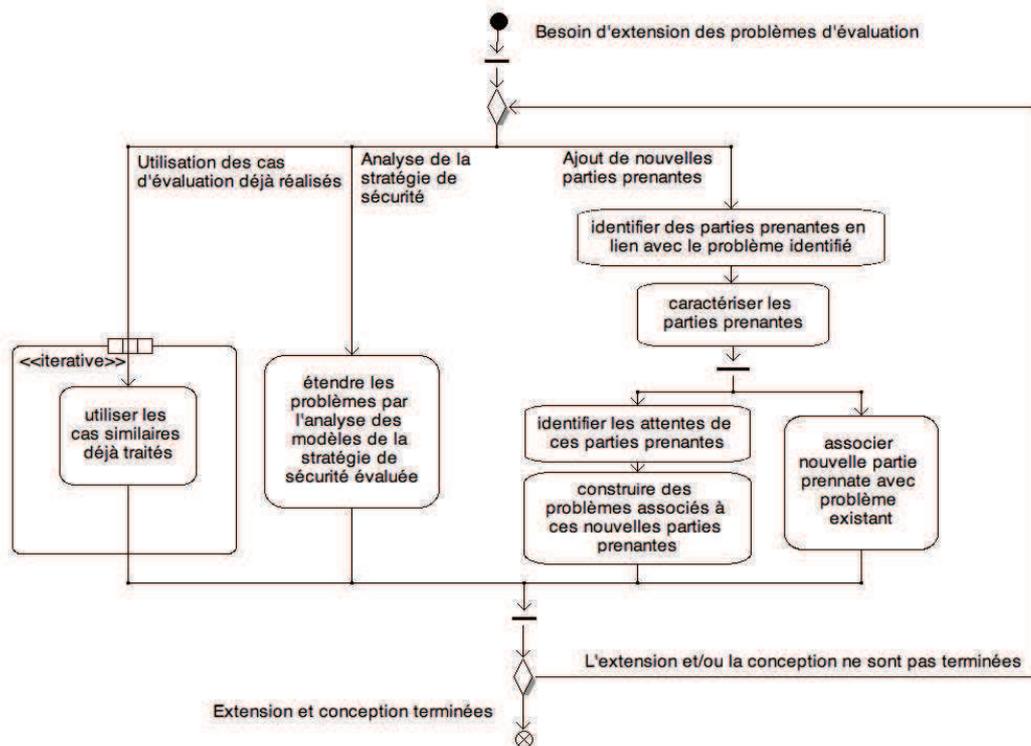


Figure 11.6 - Diagramme de construction et d'extension des problèmes d'évaluation

Exemple 11.2 - Exemple de conception d'un problème d'évaluation par l'analyse du modèle de la stratégie évaluée

Grace au modèle du C2X (voir Exemple 11.4 dans section suivante), nous observons que les services fonctionnent en interaction avec le réseau mais aussi avec d'autres services. Ils sont par exemple fonctionnellement reliés les uns aux autres dans le cas où ils collaborent (échange d'informations). Ce lien fonctionnel exprime également le fait qu'un service peut avoir un effet non programmé sur un autre. Cela peut devenir un problème lorsque les services sont incompatibles entre eux ou qu'ils influencent négativement les performances des autres. Ces problèmes sont en plus amplifiés dans notre cas puisqu'il est envisageable de développer un nombre important de services. A partir de ces considérations, nous formalisons les problèmes d'évaluation suivants : « Quelle est la performance d'une configuration de services ? », « Déterminer si tel ou tel service est compatible avec une configuration donnée ? », « Dans le cas d'une configuration de services existante, comment sélectionner des services qui viendraient améliorer sa performance ? », etc.

Exemple 11.3 - Exemple d'extension d'un problème d'évaluation existant par l'analyse du modèle de la stratégie évaluée

Nous avons choisi de nous focaliser sur le problème d'évaluation suivant : « *Quelles sont les performances de déploiement des systèmes de communication C2X ?* » (Voir Tableau 11.1). Une des performances dans le déploiement est le coût. Le modèle présenté dans la section suivante montre que la stratégie de sécurité (voir axe ontologique de la figure dans l'Exemple 11.4) étudiée nécessite un certain nombre d'éléments dont le prix global ne peut être négligé. Ce coût devra en partie être à la charge de l'utilisateur de la route puisque c'est lui qui achètera le véhicule. Nous pouvons donc étendre ce problème en proposant un sous-problème focalisé sur la performance économique. Nous proposons le sous problème suivant : « *quelle est la performance économique de déploiement des systèmes de communication C2X par rapport aux usagers de la route ?* ».

Tableau 11.2 - Exemple de construction de nouveaux problèmes par l'introduction d'une nouvelle partie prenante

Partie prenante	Stratégie de sécurité évaluée	Objectif d'évaluation	Problème d'évaluation de plus haut niveau
Les constructeurs automobiles	Diffusion de l' ESC (Electronic Stability Control) dans les véhicules	Déterminer si l'ESC est efficace pour savoir s'il faut l'installer sur tous les véhicules.	Comment spécifier et calculer l'efficacité de l'ESC en termes de sécurité ?
La commission européenne		Déterminer s'il est pertinent de rendre obligatoire l'installation de l'ESC dans tous les véhicules neufs	Quels sont les indicateurs et leur seuil qui permettent de décider si l'ESC doit être obligatoire ?

11.2. Description fonctionnelle de l'approche de modélisation des stratégies de sécurité

Après avoir traité la modélisation des attentes et les problèmes d'évaluation, nous nous intéressons maintenant au deuxième objectif de cette phase d'analyse qui est la modélisation de la stratégie de sécurité évaluée.

Cette section est décomposée en deux parties : une qui traite la retranscription des informations issues de la requête et des modèles déjà construits (réutilisation), et une autre qui traite la construction et la modification des modèles.

11.2.1. Retranscription des informations sur les stratégies de sécurité

La requête est structurée de façon à renseigner la stratégie de sécurité qui doit être évaluée. Il y a en tout 7 attributs qui portent sur sa description. Ils abordent les 4 axes

systemiques en s'intéressant à la fois à la stratégie de sécurité dans sa globalité, mais également à ses interactions avec un contexte.

Les évaluateurs ont pour mission de formaliser ces informations en suivant la structure du méta modèle que nous présentons dans le chapitre 9 (cf. section 9.3). Il s'agit dans un premier temps de déclarer la stratégie de sécurité et ensuite de déclarer la ou les actions de sécurité et le contexte. Ces premières étapes sont indépendantes des points de vue des parties prenantes. Dans un second temps, l'évaluateur construit des représentations des actions de sécurité et des contextes à l'aide des concepts « d'élément » et de « liens ». Cette activité de formalisation des connaissances est décrite dans le digramme d'activité de la Figure 11.7.

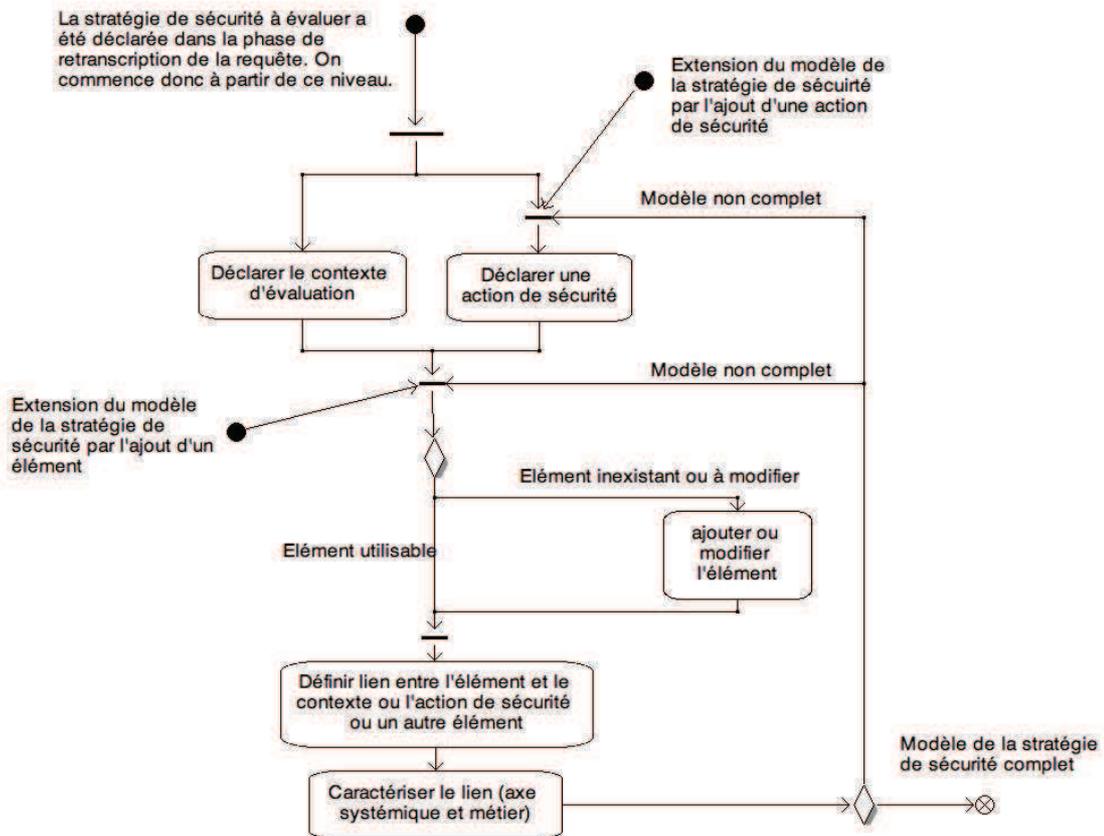
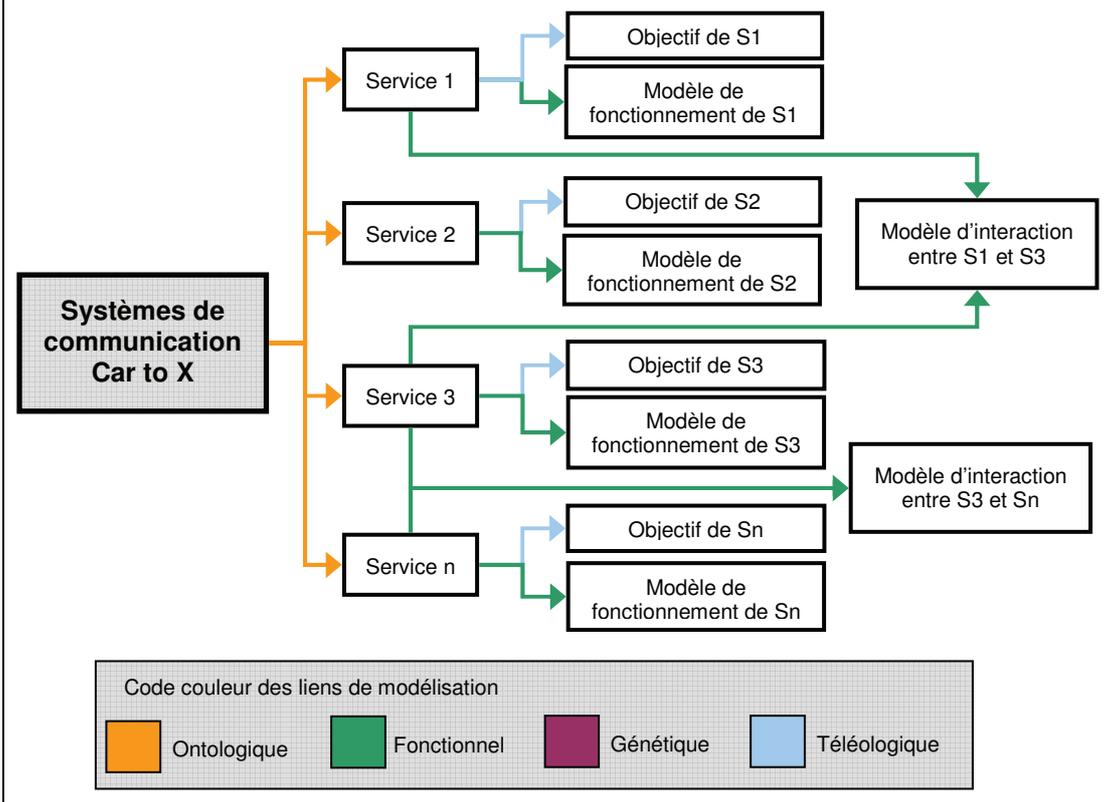


Figure 11.7 - Diagramme d'activités – Modélisation de la stratégie de sécurité à évaluer

Exemple 11.4 - Exemple de modélisation des systèmes de communication C2X

Le modèle suivant présente les systèmes de communication C2X suivant un point de vue différent du modèle du Chap. 9 (voir Exemple 9.7), seuls les services sont représentés. Cela correspond éventuellement à un point de vue accidentologique de la stratégie de sécurité. En effet, nous estimons qu'un accidentologue s'intéressera prioritairement à la description des services en fonction de leur objectif, de leur fonctionnement et de leurs interactions.



11.2.2. Evolution des modèles des stratégies de sécurité

Nous présentons dans cette section les activités qui décrivent la transformation des modèles des stratégies de sécurité. Les transformations s'expriment en termes de modifications ou d'ajouts de connaissances aux modèles existants. Ces activités répondent aux besoins de faire évoluer les modèles en fonction de la réalisation de l'évaluation ou alors d'ajouter des connaissances pertinentes identifiées par similarité avec des évaluations passées.

La caractérisation des deux notions que sont la stratégie de sécurité et l'action de sécurité permet d'enclencher une recherche de similarité⁶⁶. Il s'agit d'identifier des cas d'évaluation similaires et ainsi être en mesure de récupérer des modèles qui pourraient être réutilisés. La similarité est définie par un critère que l'on calcule à partir des attributs utilisés dans la modélisation des stratégies de sécurité et des actions de sécurité. L'évaluateur peut par exemple avoir déjà modélisé une action de sécurité et donc envisager de réutiliser son modèle.

La similarité ne peut être uniquement définie sur les attributs des deux concepts (stratégie de sécurité et action de sécurité). Il est indispensable de prendre en compte les points de vue mais également les problèmes d'évaluation. En ce qui concerne la similarité au niveau des points de vue (formalisés par le concept de « métier »), une stratégie de sécurité a pu être modélisée suivant un autre point de vue que celui considéré dans le cas traité. Dans ce cas il ne peut y avoir de réutilisation à part s'il existe un lien entre les deux points de vue⁶⁷. En ce qui concerne les cas d'évaluation, nous posons l'hypothèse qu'une même partie prenante, et donc pour un même point de vue, peut construire des modèles différents d'une même stratégie de sécurité en fonction d'un problème et de son contexte. Dans ce cas précis, les représentations déjà existantes peuvent ne pas être réutilisées dans leur globalité. Cette hypothèse n'a pas été analysée mais nous nous laissons cette possibilité par l'existence d'un lien entre le concept « d'évaluation » et de « lien ».

Une des hypothèses de notre travail de recherche concerne la construction de nouvelles connaissances au fur et à mesure que l'évaluation est exécutée. Ces nouvelles connaissances concernent à la fois les capacités cognitives de l'évaluateur à traiter des problèmes mais également ses représentations des systèmes avec lesquels il interagit. Dans le cadre de cette section sur l'évolution des représentations des stratégies de sécurité, nous nous focalisons sur ce deuxième type de connaissances. Nous expliquons la construction de ces connaissances par la recherche de nouvelles parties prenantes mais également par le processus de conception des indicateurs.

Le processus de recherche d'autres parties prenantes qui ont un lien avec le cas d'évaluation est traité dans l'extension des problèmes d'évaluation (voir section 11.2.2.2). De façon similaire, l'identification de nouvelles parties prenantes implique l'extension des modèles des stratégies de sécurité.

Le processus de conception des indicateurs qui est décrit dans le chapitre 11 implique une phase d'expansion du domaine des connaissances. D'après la théorie C-K (voir chapitre 7), l'expansion des connaissances s'explique dans un premier temps par le

⁶⁶ La notion de similarité est définie dans le chapitre 11 où elle est utilisée afin d'identifier des cas d'évaluation similaires et ainsi réutiliser en partie ou entièrement leurs indicateurs.

⁶⁷ L'identification des liens entre les points de vue n'a pas été traitée a priori. Nous pensons cependant que ce type de connaissances émerge au fur et à mesure que l'on réalise des cas d'évaluation.

traitement des concepts d'indicateurs. L'analyse des concepts d'indicateurs permet d'activer des connaissances de l'évaluateur ou des parties prenantes mais qui ne font pas encore parties de l'espace des connaissances. Il s'agit dans un second temps de construire des connaissances à partir de démonstration, d'expérience, etc.

Ces activités d'expansion des modèles des stratégies de sécurité sont représentées dans la Figure 11.7.

11.3. Solution logicielle⁶⁸

Afin de rendre opérationnel nos propositions, nous avons développé sous ACCESS un prototype de gestion de base de données. Ce dernier propose aux évaluateurs une aide pour la réalisation des évaluations. Il est construit à partir des modèles structurels (les diagrammes de classes) et des modèles fonctionnels (les diagrammes d'activité).

Par rapport à l'étape d'analyse du cas d'étude nous avons développé des formulaires dont l'objectif est de guider l'évaluateur dans la recherche et la formalisation des informations pertinentes. La figure suivant présente un de ces formulaires. Il est composé de champs à remplir qui sont chacun accompagné d'un titre et d'un texte descriptif (encadré en bleu). Ainsi, l'évaluateur sait précisément ce qu'il doit chercher et surtout pourquoi il doit le chercher. Chaque champ ou formulaire est justifié par rapport à la réalisation de l'évaluation.

Figure 11.8 - Formulaire de description des requêtes d'évaluation

Ce prototype de système de gestion de base de données n'inclut pas toutes les fonctionnalités associées à l'activité d'évaluation. Nous n'avions pas toutes les compétences en programmation ni le temps nécessaire pour tout développer. Néanmoins, c'est une

⁶⁸ Le prototype d'une solution logicielle concerne à la fois la modélisation du cas d'évaluation (chapitre 11) et la génération d'indicateurs d'évaluation (chapitre 12 – voir section 12.2).

première ébauche de l'application informatique à partir de laquelle nous avons pu spécifier plus en détails les attentes sur les fonctionnalités. Cela nous a par exemple servi à identifier les points durs dans la modélisation des stratégies de sécurité : quelles solutions opérationnelles (les formulaires) utilisables et compréhensibles par les évaluateurs ?

L'ensemble des diagrammes UML et le retour d'expérience sur le prototype nous ont servi pour la constitution d'un cahier des charges. Celui-ci a été utilisé pour le développement d'une application. Un développeur⁶⁹ a développé une solution Web pour la gestion des données d'évaluation. Son travail repose sur l'utilisation du langage PHP et le système de gestion de bases de données MySQL (voir figures suivantes).

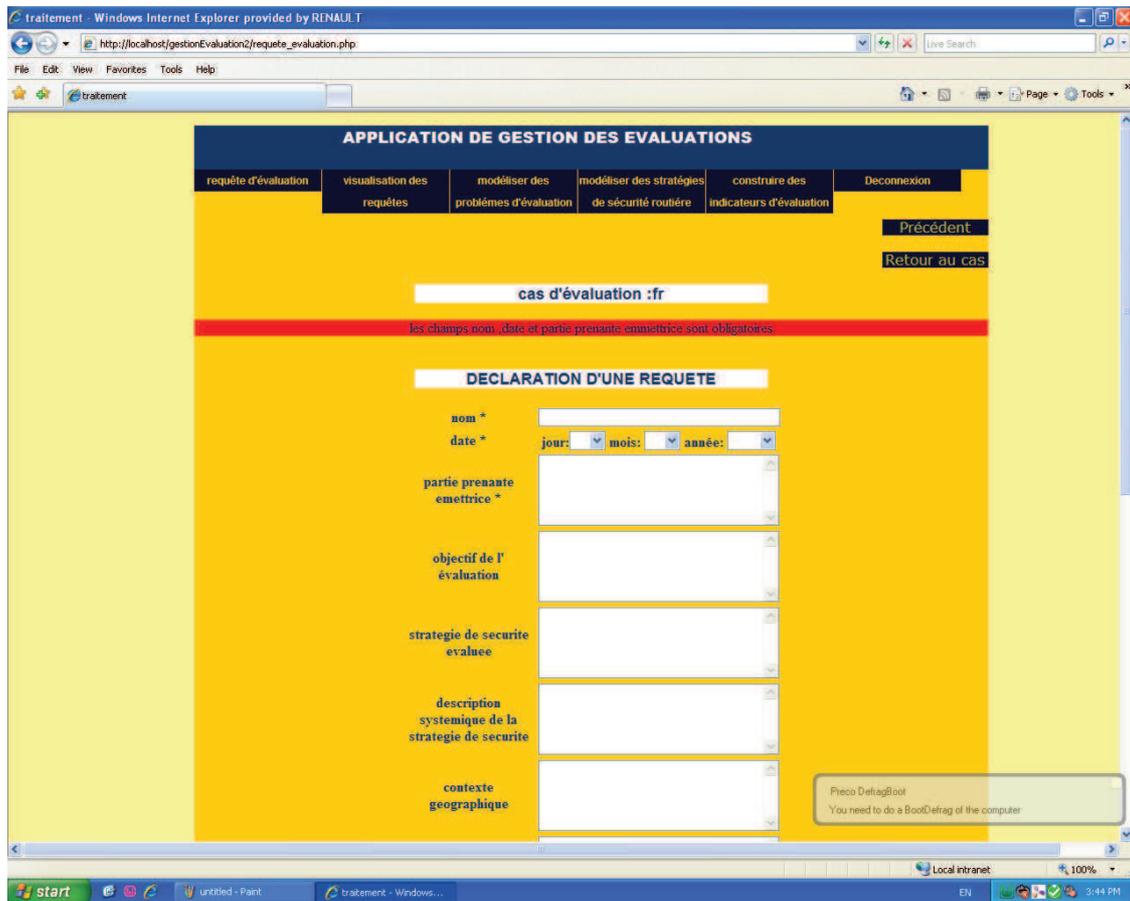


Figure 11.9 - Application Web

⁶⁹ L'application Web a été développée dans le cadre d'un stage de 2 mois par l'étudiant Idy Camara de l'école *Telecom Sud Paris*.

The screenshot shows the phpMyAdmin interface for a MySQL database named 'strat'. The main area displays a list of tables with columns: Table, Action, Enregistrements, Type, Interclassement, Taille, and Perte. The table 'axe_systemique' is highlighted in green, indicating it is selected. The interface includes a navigation menu on the left, a toolbar at the top with options like SQL, Rechercher, Requête, Exporter, Importer, Opérations, Privilèges, and Supprimer, and a browser window at the top showing the URL 'http://localhost/phpmyadmin/'.

Table	Action	Enregistrements	Type	Interclassement	Taille	Perte
action_de_securite		0	MyISAM	latin1_swedish_ci	1,0 Kio	-
asso_act_ssr		0	MyISAM	latin1_swedish_ci	1,0 Kio	-
asso_cas_pp		0	MyISAM	latin1_swedish_ci	1,0 Kio	-
asso_elt_as		0	MyISAM	latin1_swedish_ci	1,0 Kio	-
asso_elt_ctx		0	MyISAM	latin1_swedish_ci	1,0 Kio	-
asso_elt_ssr		0	MyISAM	latin1_swedish_ci	1,0 Kio	-
asso_hypb		0	MyISAM	latin1_swedish_ci	1,0 Kio	-
asso_indelt		0	MyISAM	latin1_swedish_ci	1,0 Kio	-
asso_indmtr		0	MyISAM	latin1_swedish_ci	1,0 Kio	-
asso_indpb		0	MyISAM	latin1_swedish_ci	1,0 Kio	-
asso_indpp		0	MyISAM	latin1_swedish_ci	1,0 Kio	-
asso_metier_pos		0	MyISAM	latin1_swedish_ci	1,0 Kio	-
asso_role_pos		0	MyISAM	latin1_swedish_ci	1,0 Kio	-
asso_selt		0	MyISAM	latin1_swedish_ci	1,0 Kio	-
asso_sind		0	MyISAM	latin1_swedish_ci	1,0 Kio	-
asso_spb		0	MyISAM	latin1_swedish_ci	1,0 Kio	-
asso_taxpb		0	MyISAM	latin1_swedish_ci	1,0 Kio	-
axe_systemique		0	MyISAM	latin1_swedish_ci	1,0 Kio	-
a_un		0	MyISAM	latin1_swedish_ci	1,0 Kio	-
cas_evaluation		0	MyISAM	latin1_swedish_ci	1,0 Kio	-
concerne		0	MyISAM	latin1_swedish_ci	1,0 Kio	-
contexte		0	MyISAM	latin1_swedish_ci	1,0 Kio	-
element		0	MyISAM	latin1_swedish_ci	1,0 Kio	-
emise_par		0	MyISAM	latin1_swedish_ci	1,0 Kio	-
est_classe_par		0	MyISAM	latin1_swedish_ci	1,0 Kio	-
est_decomposer_en		0	MyISAM	latin1_swedish_ci	1,0 Kio	-
evaluteur		1	MyISAM	latin1_swedish_ci	4,1 Kio	-
evaluer		0	MyISAM	latin1_swedish_ci	1,0 Kio	-

Figure 11.10 - Interface administrateur de gestion de la base de données

11.4. Synthèse

Ce chapitre décrit la partie fonctionnelle du méta-modèle pour la modélisation des cas d'évaluation. L'objectif est de pallier les manques sur la formalisation de connaissances pertinentes pour la réalisation de l'activité d'évaluation.

Une description de la structure fonctionnelle et génétique (ou transformationnelle) de ce méta-modèle est proposée. Nous utilisons pour cela des diagrammes d'activités qui s'appuient sur la description ontologique et qui guident les évaluateurs dans les activités de formalisation et de construction des modèles. L'objectif est de cadrer l'instrumentation des concepts par une correspondance homomorphique avec le phénomène perçu : « les cas d'évaluation ».

Une grande attention est portée à l'aspect génétique du méta modèle car il aborde la construction et l'extension des modèles. Il est traité par deux activités : La première est basée sur une approche constructiviste : la réalisation de l'activité d'évaluation s'accompagne de la création de nouvelles connaissances. Elles peuvent émerger de part l'interaction avec les parties prenantes mais également par le processus de réflexion sur la génération des indicateurs. La deuxième concerne l'extension par la recherche de modèles existants qui ont des similarités avec le cas traité. Cette recherche de similarité permet d'identifier des modèles qui sont peut être plus détaillés et que l'évaluateur peut réutiliser.

Ce n'est plus uniquement une observation passive à un instant donné, c'est une approche dans laquelle on pousse l'évaluateur à interagir avec son environnement et à faire évoluer ses modèles.

Chapitre 12. La génération d'indicateurs d'évaluation

Ce chapitre aborde la construction des indicateurs d'évaluation à partir de deux approches complémentaires : la réutilisation et la conception. L'objectif est de fournir des patterns de réflexion qui guident les évaluateurs dans leur construction.

12.1. Principe général de la génération des indicateurs

De façon à répondre au mieux aux attentes des parties prenantes de l'évaluation et à s'adapter aux contraintes, nous proposons de traiter la génération des indicateurs à travers l'utilisation de deux approches complémentaires qui s'appuient sur les connaissances sur le cas traité (voir Figure 12.1) et sur ceux déjà réalisés.

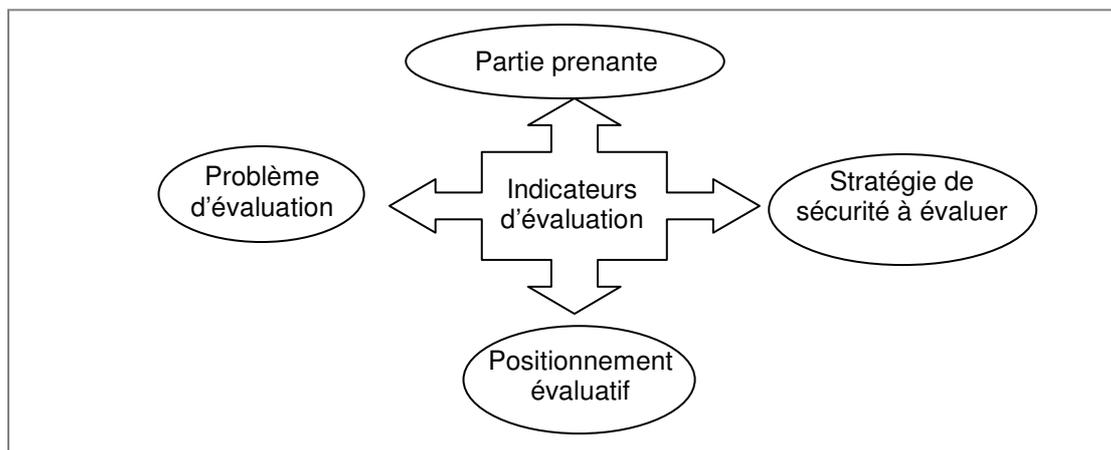


Figure 12.1 - Entités à prendre en compte dans la génération des indicateurs

Les enjeux auxquels doit répondre notre proposition sont les suivants :

- Le premier besoin principal, que nous avons déjà identifié, est la génération d'indicateurs pertinents pour un cas d'évaluation donné.
- Il faut être en mesure, lorsque cela est nécessaire, de générer des indicateurs qui s'adaptent aux nouvelles problématiques de sécurité ainsi qu'aux nouvelles actions de sécurité. Même si ce besoin peut être abordé par la réutilisation et l'adaptation d'indicateurs existants, nous considérons qu'il est plutôt nécessaire de le traiter par une approche de conception (en complément de l'approche de réutilisation).
- Comme pour toute activité humaine, il est indispensable de ne pas refaire ce qui a déjà été fait que ce soit en termes de résultats mais également d'erreurs. Il faut donc être en mesure pour chaque cas à traiter de facilement identifier les cas déjà traités.

- Dans certains cas, les contraintes temporelles ne permettent pas aux évaluateurs de déployer une méthodologie complexe de génération d'indicateurs. Il faut donc être en mesure de s'adapter à ce type de limite en proposant une méthodologie de génération qui soit rapide et efficace. La réutilisation et l'adaptation répondent à ce besoin. Au-delà même de l'aspect temporel, certains cas d'évaluation ne nécessitent pas l'utilisation d'une méthodologie complexe et se satisfont de la réutilisation.
- Enfin, l'un des points important que nous avons déjà abordé dans le chapitre 10 concerne l'utilisabilité de nos propositions par les évaluateurs. Il faut qu'elles s'intègrent dans leur activité que ce soit en termes de processus cognitifs ou d'outils opérationnels.

Nous proposons deux approches qui se déclinent en trois méthodes différentes mais complémentaires (voir Figure 12.2) :

La première approche est celle de la réutilisation. Elle a pour objectif d'identifier les indicateurs qui ont déjà été utilisés dans des cas similaires à celui qui est traité. Cette solution a comme principal avantage de ne pas nécessiter de la part des évaluateurs des ressources importantes. En plus d'être adaptée à des cas d'évaluation contraints par le temps, c'est également une approche utilisable dans tous les cas d'évaluation. En effet, la recherche par similarité permet à l'évaluateur de se rattacher à des problèmes déjà traités.

La deuxième approche traite la génération des indicateurs par la conception. L'évaluateur cherche à concevoir de nouveaux indicateurs qui répondent aux besoins identifiés. Nous proposons deux méthodes de conception. La première est une méthode de conception basée sur la composition automatique d'items dont l'objectif est la génération de propositions d'indicateurs. La deuxième est une méthode qui nécessite la mise en œuvre de comportements créatifs spécifiques, c'est l'utilisation de la théorie C-K. Les évaluateurs doivent se donner les moyens de mettre en œuvre une telle démarche et ainsi dépasser les stratégies classiques de réutilisation et d'adaptation.

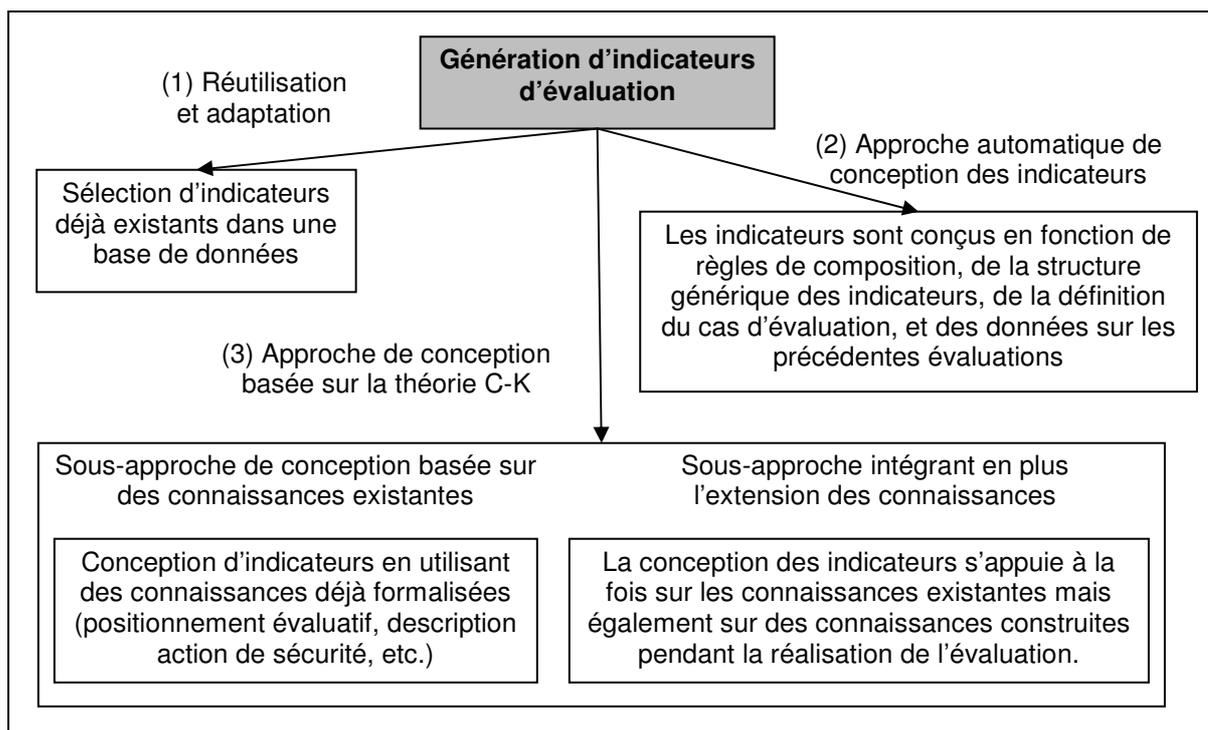


Figure 12.2 - Synthèse des approches et des sous-approches utilisées pour la génération des indicateurs d'évaluation

Nous n'intégrons pas les contraintes et hypothèses opérationnelles dans les premières phases de la conception. L'objectif est ici d'être en mesure de pouvoir générer des concepts d'indicateurs qui n'ont pas nécessairement de réalité opérationnelle mais que l'on utilise afin d'identifier des pistes de recherche⁷⁰. C'est un objectif primordial pour un laboratoire de recherche comme le LAB qui doit anticiper les besoins en sécurité routière.

Dans le cadre d'un positionnement de conception tel que celui décrit par l'Axiomatic Design ou la TRIZ (voir Chap. 7), la prise en compte des hypothèses et des contraintes intervient dès le début de la phase de conception. De cette façon, l'évaluateur réalise la conception en fonction de ce qu'il souhaite et de comment il peut le réaliser. Ces deux approches ne sont donc pas adaptées lorsque l'évaluateur ne se limite pas à la construction d'indicateur opérationnellement réalisable. Il peut être amené à rechercher tous types d'indicateur même s'ils ne sont pas calculables. Cela lui permet d'identifier des pistes de recherche.

12.2. Construction des indicateurs par la réutilisation

La réutilisation est une approche nécessitant une base de données conséquente dans laquelle on doit pouvoir trouver des éléments de réponse à notre problème. L'utilisabilité

⁷⁰ La phase de construction des indicateurs doit tout de même aboutir à des indicateurs qui soient opérationnels et donc calculable (des processus de modification et d'adaptation sont proposés).

d'une telle approche est donc liée avec le développement de la base de cas d'évaluation traités.

Le concept central de la réutilisation est la similarité (ou la similitude). Il s'agit de mesurer le degré de ressemblance entre deux objets par l'utilisation d'une méthode de comparaison des caractéristiques. Différentes méthodes ont été développées dans les domaines tels que l'analyse des changements en ingénierie (« *Engineering Changes* ») [Mehta *et al.*, 2010], la reconnaissance des formes (comparaison d'images) [Santini and Jain, 2002] ou encore la textométrie (mesure de distance entre deux textes) [Salem, 2006].

Pour [Bisson, 2000], la similarité est utilisée dans la classification, la caractérisation et l'identification. Pour la sélection des indicateurs pertinents, nous avons besoin d'un algorithme de similarité pour l'identification. L'objectif est de trouver quel(s) autre(s) cas d'étude est le plus ressemblant au cas d'étude pour lequel nous cherchons un indicateur. Ainsi, les indicateurs déjà utilisés et potentiellement réutilisables sont identifiés en fonction de la similarité entre les cas d'étude.

Le choix sur les méthodes de calcul de similarité dépend de la nature des données à comparer et de l'objectif de l'étude.

Premièrement, les données caractérisant les cas d'étude sont principalement de type qualitatif nominal. Les modalités des attributs d'un cas d'évaluation sont exprimées par un nom et elles ne peuvent être ordonnées. Il n'est donc pas possible de faire un calcul de similarité dans l'espace des métriques (un cas d'étude serait représenté par un vecteur de n dimensions). Nous devons être en mesure de le faire sur des données symboliques.

Secondement, l'objectif de l'étude n'est pas de déterminer les cas les proches d'un point de vue absolu. Nous avons besoin d'une similarité qui a une valeur par rapport à notre besoin en évaluation. Nous proposons pour cela le Tableau 12.1. Il regroupe l'ensemble des attributs des cas d'étude que nous prenons en compte afin de calculer la similarité. La recherche de similarité peut s'effectuer sur une seule de ces entités ou sur plusieurs d'entre elles. Il s'agit par exemple d'identifier des cas similaires en considérant que le commanditaire est un constructeur automobile. Néanmoins dans notre cas nous nous limitons à 5 niveaux de similarité que l'on spécifie ainsi : similarité globale (prise en compte de tous les concepts) et une similarité par concept.

Tableau 12.1 - Tableau des attributs pris en compte dans le calcul de similarité

Entités	Attributs utilisés pour le calcul de similarité
Partie prenante	Rôle, métier et organisation
Action de sécurité	Type et description à l'aide de la matrice de Haddon
Problème d'évaluation	Type et taxonomie
Positionnement évaluatif	Nom

Lorsque des données qualitatives nominales sont utilisées, la notion de voisinage sémantique est parfois abordée. Elle exprime le fait que les modalités des attributs peuvent être proches d'un point de vue sémantique (exemple des synonymes). La similarité ne doit donc pas être uniquement basée sur la répétition d'un même terme. Elle doit prendre en compte cette proximité définie par le sens des termes. Nous n'avons cependant pas abordé cette notion par manque de compétences sur le domaine et de temps (cela implique un travail approfondi sur l'ensemble des modalités utilisées).

Nous utilisons l'indice de Jaccard⁷¹ qui est « *le rapport entre la cardinalité de l'intersection des ensembles reconnus et la cardinalité de l'union des ensembles, il permet d'évaluer la similarité entre les ensembles* ». L'indice de Jaccard est compris dans [0, 1], 1 étant une valeur indiquant la similarité totale entre les deux espaces. Soit deux cas E1 et E2, l'indice de Jaccard est :

$$J(E1, E2) = \frac{|E1 \cap E2|}{|E1 \cup E2|}$$

Chacun de ces cas est décrit par un ensemble d'attributs tels que :

$$E1 = (E1_1, E1_2, E1_3, \dots, E1_n)$$

$$E2 = (E2_1, E2_2, E2_3, \dots, E2_m)$$

On définit les valeurs suivantes :

M_c est le nombre d'attributs commun dans $E1$ et $E2$

$M1$ est le nombre d'attributs caractérisant $E1$

$M2$ est le nombre d'attributs caractérisant $E2$

L'indice de Jaccard devient :

$$J = \frac{M_c}{M1 + M2 - M_c}$$

Le Tableau 12.2 et la Tableau 12.3 présentent un exemple qui permet d'illustrer la méthode de calcul de l'indice de Jaccard entre 3 cas d'évaluation (exemple à titre indicatif).

Tableau 12.2 - Exemple de caractérisation de 3 cas d'évaluation

⁷¹ L'indice de Jaccard est par exemple utilisé pour déterminer le niveau d'interaction entre deux textes [Salem, 2006]. Le calcul est réalisé sur l'intersection des vocabulaires de chaque texte.

	Cas 1	Cas 2	Cas 3
Partie prenante	Décideur, ingénieur d'étude	ingénieur d'étude	Décideur
	Manager, Ergonome	Ergonome	Economiste
	Constructeur automobile, laboratoire sécurité routière	Constructeur automobile	Commission Européenne
Action de sécurité	Mesure de sécurité	Système de sécurité	Mesure de sécurité
	Conducteur/pre-crash	Conducteur/pre-crash	Infrastructure/post-crash
Problème d'évaluation	Décision, comparaison	Validation	Décision
	Sélection d'une action de sécurité parmi un ensemble	Vérifie une action de sécurité par rapport à des attentes	Décider de la diffusion d'une action de sécurité
Positionnement évaluatif	Industriel, santé publique	Industriel	Industriel, Santé publique

Tableau 12.3 - Calcul des indices de Jaccard pour les trois cas d'évaluation

Indice de Jaccard	Cas 1 / Cas2	Cas 1 / Cas3	Cas 2 / Cas3
Global	$\frac{6}{14+9-6} = \frac{6}{29} = 0,207$	$\frac{4}{14+10-4} = 0,143$	$\frac{1}{14+10-1} = 0,043$
Partie prenante	$\frac{3}{6+3-3} = 0,5$	$\frac{1}{6+3-1} = 0,125$	$\frac{0}{3+3-0} = 0$
Action de sécurité	$\frac{2}{3+3-2} = 0,5$	$\frac{1}{3+3-1} = 0,2$	$\frac{0}{3+3-0} = 0$
Problème d'évaluation	$\frac{0}{3+2-0} = 0$	$\frac{1}{3+2-1} = 0,25$	$\frac{0}{2+2-0} = 0$
Positionnement évaluatif	$\frac{1}{2+1-1} = 0,5$	$\frac{2}{2+2-2} = 1$	$\frac{1}{1+2-1} = 0,5$

Dans cet exemple, nous voyons que le cas d'évaluation N°1 est similaire au cas N°2 sur l'indice de Jaccard global mais également sur celui de la partie prenante et de l'action de sécurité. Indépendamment du score de similarité on aura tendance à analyser les indicateurs du cas N°2 pour une éventuelle réutilisation.

On observe cependant que sur deux indices (problème d'évaluation et positionnement évaluatif) on a une plus grande similarité avec le cas N°3. Ce résultat montre que dans le cas d'une focalisation sur un des concepts (volontaire ou imposée par le manque d'information), les indicateurs identifiés peuvent être issus de cas d'évaluation très différents (la similarité entre le cas N°2 et le N°3 est très faible).

Cet exemple montre également qu'il est nécessaire de réfléchir à la mise en place d'un niveau seuil du score de similarité afin d'indiquer à l'évaluateur des cas similaires qui soient pertinents. Nous n'avons pas a priori identifié un tel niveau mais nous pensons que c'est une donnée qui doit se construire par la pratique.

Le deuxième point important de la réutilisation est l'éventuel besoin d'adapter les indicateurs identifiés par similarité. Dans le cas où la similarité entre deux cas n'est pas totale, il est nécessaire de transformer l'indicateur pour qu'il convienne au cas traité.

Nous définissons cette phase comme un processus qui consiste à adapter les indicateurs au cas traité en fonctionnant par analogie. Il s'agit de modifier les modalités des attributs ou des métriques mais, aussi de modifier la structure de l'indicateur en fonction des différences dans les représentations des cas d'évaluation. Il s'agit par exemple dans le cas des attributs géographiques d'identifier les zones ciblées par les évaluations, on peut par exemple passer d'une étude sur la France à une étude sur l'Allemagne.

Un algorithme de calcul de similarité a été développé dans le prototype ACCESS (voir également la section 11.3). Son interface est présentée dans la figure suivante. L'évaluateur doit sélectionner le cas d'évaluation pour lequel il cherche à identifier des cas similaires (fenêtre de gauche). L'algorithme se charge ensuite de calculer un indice de similarité pour l'ensemble des autres cas. La fenêtre de droite présente la similarité pour chaque cas. L'indice est compris entre 0 et 1 avec la valeur 1 indiquant la similarité maximale. Dans notre exemple nous avons construit l'algorithme sur les variables de description des cas d'évaluation. L'algorithme compare les « types » de chaque cas d'évaluation et permet ainsi de renseigner la similarité. Nous avons prévu d'étendre cet algorithme à d'autres variables de façon à proposer différents niveaux d'analyse de similarité. L'évaluateur pourra choisir à partir de quelle(s) variable(s) il souhaite identifier des items similaires.

Case Name	Similarity Value
evaluation of the ESC	0,5
evaluation of the ABS	0

Figure 12.3 - Formulaire pour le calcul des indices de similarité

12.3. Génération des indicateurs par l'utilisation de l'approche automatique de conception

Les indicateurs sont des objets composés de plusieurs items structurés suivant un formalisme mathématique défini dans le Chap. 10. Nous utilisons cette définition pour la définition d'une méthode de génération automatique d'indicateurs. Celle-ci construit des propositions d'indicateurs sur la base des items que sont les éléments des modèles construits lors de la première phase d'analyse du cas d'étude, les indicateurs élémentaires et les autres indicateurs déjà existants. Les items utilisés pour la génération sont ceux directement lié avec le cas d'évaluation.

Pour construire les propositions, la méthode de génération utilise des règles de composition (voir Tableau 12.4). Celles-ci sont décrites par des opérateurs décrits par une

expression et une formalisation mathématique. Cette double description assure la possibilité de fournir une définition littérale et mathématique des propositions d'indicateur.

Tableau 12.4 - Liste des règles de composition

Expression	Formulation	Exemple
Rapporté à	$\frac{i_1}{i_2}$	$\frac{\text{nombre de tué}}{\text{coût de développement de la stratégie de sécurité}}$
Amplifié par	$i_1 \times i_2$	<i>performance de l' AFIL</i> × <i>le pourcentage de route correctement délimitée</i>
Limité par	$i_1 - i_2$	<i>performance de la stratégie 1</i> – <i>performance de la stratégie 2</i>
Concaténer à	$i_1 + i_2$	<i>performance à réduire les blessures</i> + <i>performance à éviter les tués</i>
Associer à	$i_1 \text{ et } i_2$	<i>coût de maintenance de l' airbag</i> à <i>la charge de l' utilisateur</i>

Le principe de fonctionnement de cette méthode est repris dans la figure suivante et est illustré dans l'Exemple 12.1 :

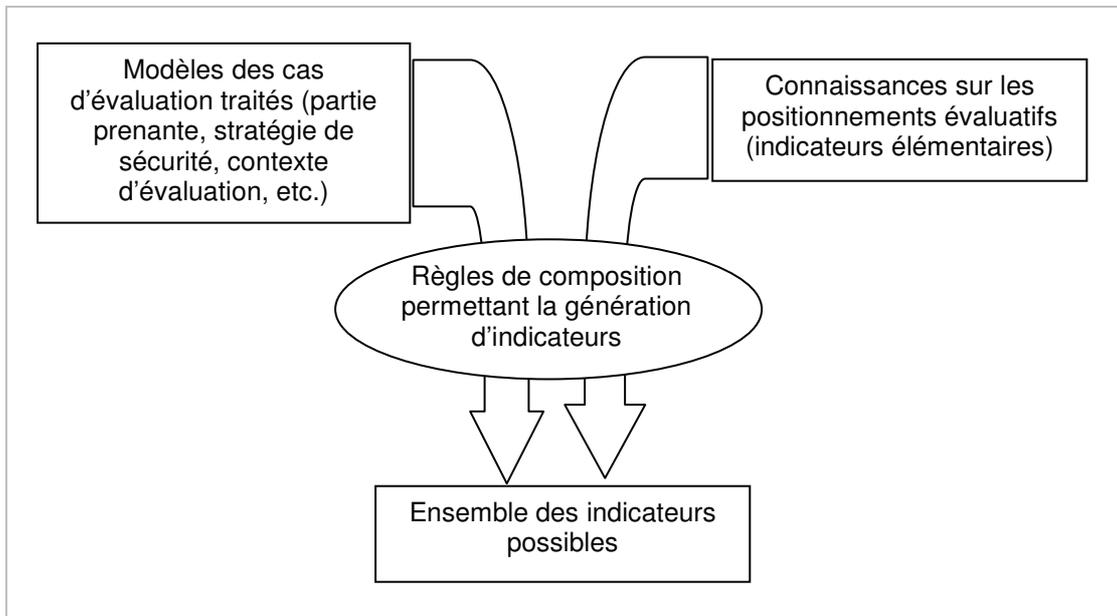


Figure 12.4 - Principe de fonctionnement de la méthode de génération automatique d'indicateurs d'évaluation

Exemple 12.1 - Construction d'indicateur pour la construction d'un hôpital

Le projet que nous prenons pour exemple traite la construction d'un nouvel hôpital dans une zone géographique donnée. Pour être approuvé, les initiateurs du projet doivent fournir aux autorités locales et aux décideurs des preuves sur les besoins de construire l'hôpital.

En dehors des accidents domestiques et de travail, les routes et leurs infrastructures sont les principaux lieux d'accidents. Les responsables du projet doivent recueillir ce type d'information auprès de professionnels. La pratique courante est de s'adresser aux experts

en accidentologie. Pour être plus précis, le chef de projet cherche des indicateurs qui montrent la nécessité d'avoir dans cette zone géographique une structure de santé pour sauver le maximum de personnes blessées. Dans la réalité, il s'agit d'une perspective naïve. Les experts en accidentologie ont à comprendre la raison de la demande de sorte à s'adapter et à générer des indicateurs plus significatifs. La question est de savoir comment ?

Pour produire les indicateurs, nous devons tout d'abord fournir une description d'un hôpital. Les évaluateurs cherchent à modéliser les connaissances sur l'étude de cas, selon le méta-modèle que nous avons proposé. Nous considérons les éléments suivants :

Personnel : le nombre et le type de personnel, ses qualifications, ses spécialités, l'organisation,

Caractéristiques de l'hôpital : la taille de l'hôpital, le nombre de lits, le matériel utilisé, le budget,

L'emplacement - l'environnement : la zone de travail, le type et le nombre de cas à traiter, l'accès à l'hôpital (densité du réseau routier, la densité du trafic)

Selon le contexte et la question, nous avons décidé de choisir le positionnement de la santé publique. Nous sommes maintenant en mesure de produire des indicateurs : nous avons une liste d'indicateurs élémentaires et des éléments de modélisation sur le cas d'étude.

Nous considérons tout d'abord la performance de la structure en fonction du nombre d'accidents et les équipements disponibles. Nous proposons six indicateurs que nous allons passer en revue (voir le tableau ci-dessous).

Tableau 12.5 - Liste des indicateurs potentiels pour évaluer la performance d'un hôpital

$I_1 = \frac{\text{number of crashes per day}}{\text{number of hospital beds}}$	$I_2 = \frac{\text{number of crashes per week}}{\text{number of hospital beds}}$	$I_3 = \frac{\text{number of crashes per month}}{\text{number of hospital beds}}$
$I_4 = \frac{\text{number of crashes per day}}{\text{staff number}}$	$I_5 = \frac{\text{number of crashes per week}}{\text{staff number}}$	$I_6 = \frac{\text{number of crashes per month}}{\text{staff number}}$

Dans ce tableau, les colonnes expriment les variations sur l'évaluation des accidents (par jour, par semaine et par mois) et les lignes expriment les variations sur le type de matériel qui est passé en revue.

À première vue, il est plus pertinent de considérer les accidents par jour en raison de l'utilisation (occupation) de l'équipement et du personnel disponible. En ce qui concerne les lits d'hôpitaux et le personnel, nous considérons qu'ils sont tous deux pertinents pour notre question. Néanmoins, le « nombre d'accidents » n'est pas assez pertinent pour l'hôpital. Il n'informe pas le nombre de personnes blessées. Un accident peut conduire à des niveaux

différents de blessures (y compris morts ou indemnes). Nous devons chercher des indicateurs qui sont plus précis.

Par conséquent, nous considérons la performance de l'hôpital selon les types d'accidents (en termes de niveau des blessures et types) et les capacités de l'hôpital. Par exemple, nous nous concentrons sur les accidents avec des fractures sur les os. Deux propositions pertinentes sont sélectionnées dans le tableau ci-dessous :

Tableau 12.6 - Les deux indicateurs sélectionnés

$I7 = \frac{\text{number of injuries with bones' fractures per day}}{\text{Staff number in trauma service}}$	$I8 = \frac{\text{number of injuries with bones' fractures per day}}{\text{number of beds in trauma service}}$
--	--

Le nombre des items utilisés peut être élevé, ce qui implique la possibilité de construire un grand nombre de propositions d'indicateurs. On estime en effet, que plusieurs milliers de combinaisons peuvent être générés. L'avantage est la possibilité pour l'évaluateur d'être rapidement en possession d'un grand nombre d'indicateurs. Néanmoins, tous les indicateurs n'ont pas nécessairement un sens par rapport à l'activité d'évaluation. Certains sont en effet une combinaison de différents items sans valeur logique et donc inutilisable en évaluation. L'évaluateur doit donc choisir les indicateurs pertinents parmi un ensemble de proposition en fonction du cas d'évaluation. Cette tâche s'avère difficile voir impossible lorsque le nombre de propositions est très élevés. Une méthode est nécessaire afin d'aider l'évaluateur à trouver les bons indicateurs. Cela fait partie des perspectives d'amélioration de notre recherche. *

Nous avons pour le moment identifié une piste de réflexion pour traiter ce problème de sélection. Elle consiste à identifier, par la pratique, des couples de connaissances qui n'ont pas de sens. L'évaluateur va au fur et à mesure noter les propositions proposés (proposition non pertinente pour toujours, proposition non pertinente dans ce contexte précis, proposition non pertinente à la vue des connaissances actuelles, et proposition pertinente). Ainsi, cette base de références sera par la suite utilisable pour guider la construction d'indicateurs plus pertinents.

12.4. Génération des indicateurs par l'utilisation de la théorie C-K

Nous décrivons dans cette section la construction des indicateurs par l'utilisation d'une théorie de conception. L'objectif est de proposer un appui méthodologique pour l'évaluateur afin de construire de nouveaux indicateurs qui répondent aux attentes des parties prenantes. Nous rappelons que ce type de proposition nécessite de la part des évaluateurs un investissement en termes de temps et de réflexions. C'est pour cela que nous réservons cette proposition aux cas nécessitant de la nouveauté et pour laquelle l'évaluateur a les ressources matérielles et humaines nécessaires.

Cette approche par la conception est directement intégrée dans notre positionnement constructiviste de l'activité d'évaluation. La réalisation de l'étape de construction des indicateurs génère de nouvelles connaissances qui sont utilisées dans cette même étape. Ces connaissances portent à la fois sur les modèles des cas d'évaluation mais également sur les processus cognitifs de l'évaluateur dans le sens où il est considéré comme un être capable de produire ses propres plans d'actions. Notre approche va donc l'aider à construire son activité au fur et à mesure des interactions qu'il aura avec l'environnement d'évaluation. La réalisation de l'activité de conception est génératrice de sa propre évolution.

Dans le souci de proposer un appui méthodologique adapté aux évaluateurs et qui soit progressif en termes de charge de réflexion, nous détaillons notre proposition suivant deux sous-approches complémentaires (elles sont toutes deux issues de la théorie C-K). L'objectif de cette division est de laisser la possibilité à l'évaluateur de ne pas avoir à mettre en œuvre la totalité de l'approche C-K en fonction de ses besoins et de ses contraintes (le temps limité par exemple). La première sous approche de conception consiste à guider l'évaluateur en lui proposant d'utiliser des connaissances existantes pour générer des concepts d'indicateurs⁷². La deuxième intègre en plus l'extension du domaine des connaissances. Nous détaillons par la suite ces deux sous approches ainsi que la phase de validation des concepts d'indicateur.

Nous insistons sur le fait que la notion d'extension des connaissances peut être perçue à deux niveaux. Le premier, qui est « naturel » dans notre proposition globale, concerne les feedbacks existants entre les différentes étapes de l'activité d'évaluation. Elles sont utilisées pour étendre ou modifier les modèles décrivant le cas d'évaluation. Par contre l'extension des connaissances qui concerne la deuxième sous-approche de conception porte sur la recherche de nouvelles compétences (autres domaines) ou de nouveaux modèles utilisés pour la compréhension.

12.4.1. Conception d'indicateurs à partir de connaissances existantes

L'objectif de cette première sous approche de conception est de fournir un appui méthodologique aux évaluateurs pour qu'ils puissent concevoir des concepts d'indicateurs à partir de connaissances existantes (Figure 12.5).

Nous basons notre approche sur l'opérateur d'expansion des concepts à partir des connaissances (K vers C). Il consiste à faire naître des concepts à partir des propositions de K. L'évaluateur ajoute ou retire des propriétés aux concepts à partir des connaissances. Nous utilisons pour cela des connaissances portant à la fois sur les parties prenantes à travers les

⁷² Le terme « concept d'indicateur » fait référence à une proposition d'indicateur qui n'a pas de statut logique. On ne peut pas dire si elle vraie ou fausse (par rapport au cas d'évaluation traité).

positionnements évaluatifs et les stratégies de sécurité évaluée en interaction avec leur contexte. Nous accédons à ces connaissances à travers les modèles structurels que nous avons présentés dans les chapitres 9 et 10. Nous illustrons cette approche dans la première partie de l'Exemple 12.2.

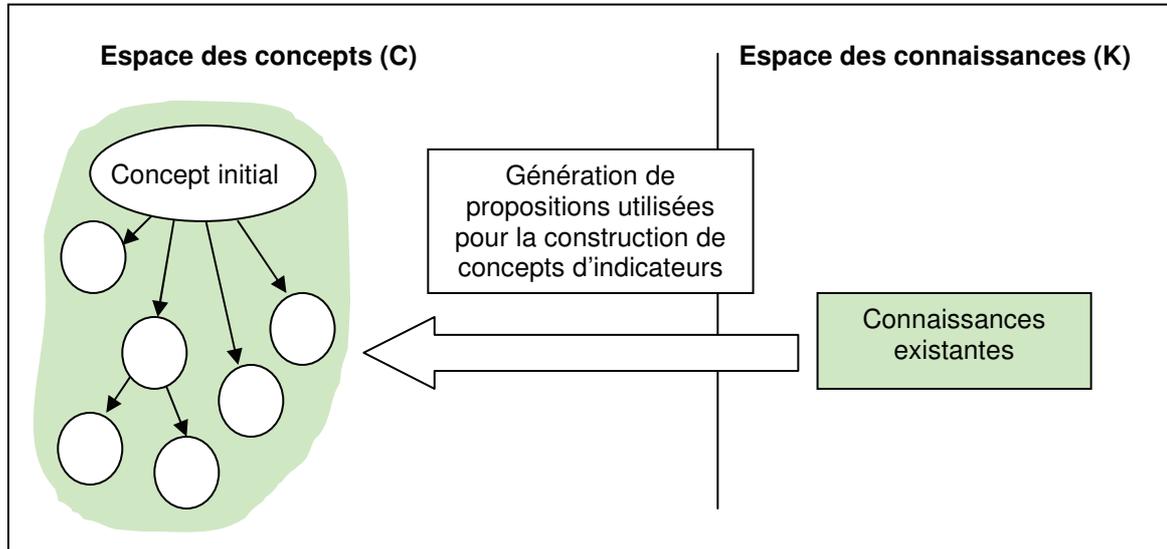


Figure 12.5 - Expansion des concepts à partir de K

12.4.2. Conception d'indicateurs et extension des connaissances

La deuxième sous-approche de conception, qui inclut également la première, traite l'extension des connaissances à travers différents mécanismes. Certains d'entre eux sont intuitifs, comme ceux que l'évaluateur réalise lorsqu'il cherche à modéliser plus en détails une action de sécurité, et d'autres nécessitent la définition de processus. La théorie C-K définit deux types de connaissance qui sont générées pendant la conception : les connaissances construites par l'exploration des concepts et les connaissances construites par d'autres mécanismes tels que l'expérimentation, l'extension des disciplines utilisés ou encore la découverte de nouveaux théorèmes. Ces différentes connaissances sont directement intégrées dans le schéma décrivant la théorie C-K (voir Figure 12.6) et sont utilisées pour construire de nouveaux concepts. Cette deuxième sous-approche de conception est illustrée dans la deuxième partie de l'Exemple 12.2. Nous illustrons l'extension des connaissances sur un positionnement évaluatif.

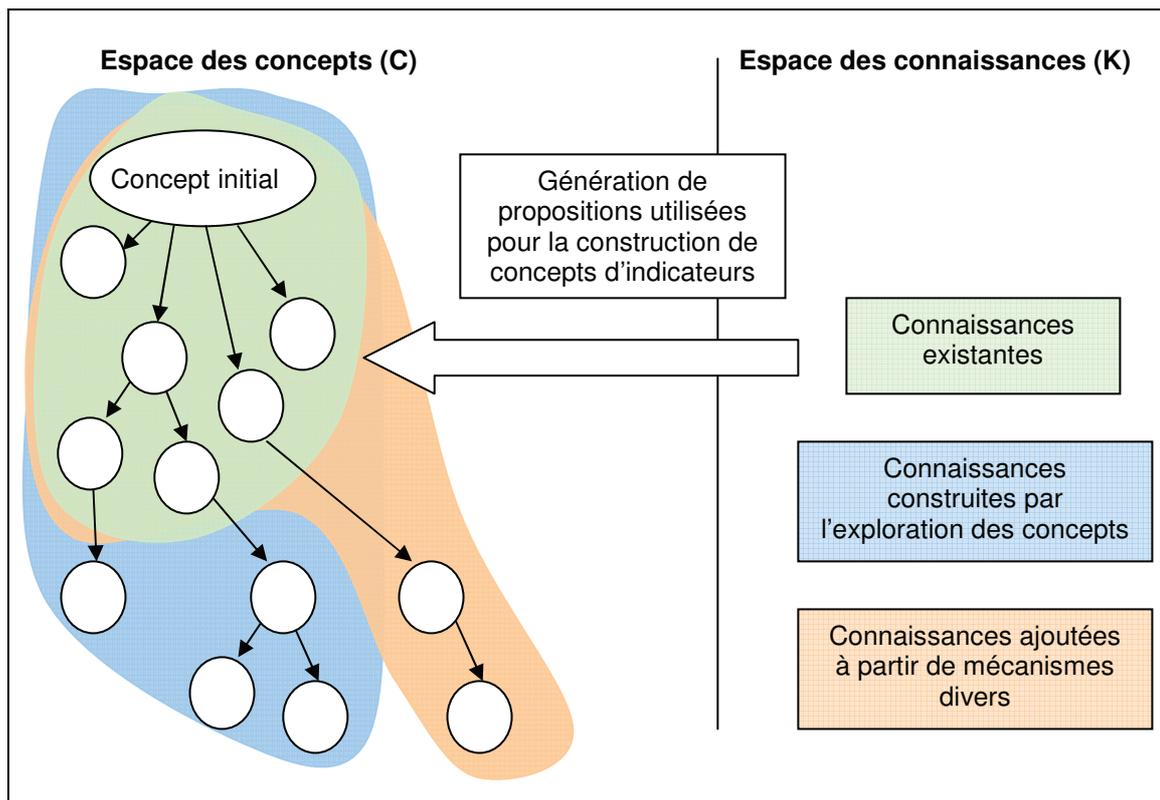


Figure 12.6 - Extension de l'espace des concepts par ajout de nouvelles connaissances

De part sa constitution, l'espace des connaissances est en perpétuelle évolution tant sur les modalités de ses connaissances que sur sa structure. La dynamique de cet espace implique également une dynamique dans l'espace des concepts d'indicateurs. En effet, les modifications de l'espace des connaissances impliquent soit la construction de nouveau concept ou alors la révision des concepts d'indicateurs existants. Ceci participe à la définition d'une vision constructiviste de l'activité d'évaluation dans laquelle il est possible d'intégrer l'évolution des connaissances grâce aux liens entre les concepts du méta modèle. Ces liens sont également utilisés afin de structurer la mémoire de projet, ils matérialisent les prises de décision des évaluateurs dans la construction des indicateurs (telle connaissance a servi à générer tel concept d'indicateur). Il est ainsi possible de mémoriser les réflexions afin de faciliter la réutilisation mais aussi de gérer la révision des concepts lorsque les connaissances changent.

La construction de connaissances par l'exploration des concepts commence par la sélection d'une partition d'un concept que l'on active afin de générer de nouvelles connaissances. L'évaluateur peut par exemple sélectionner la stratégie qu'il est entrain d'évaluer. Il utilise ensuite le méta-modèle que l'on a présenté dans le chapitre 9 pour construire de nouvelles connaissances sur le fonctionnement ou encore l'ontologie de la stratégie évaluée. Ce travail de construction de connaissances (modélisation) s'effectue à la fois en termes de granularité dans la description mais également en fonction des points de vue adoptés. Suite à cette extension de l'espace des connaissances, il s'agit de retourner aux

concepts et ainsi de proposer de nouveaux concepts partitionnés. L'extension des connaissances est également réalisée à tout ce qui constitue la base de connaissance de l'évaluateur.

Le deuxième type de mécanisme de construction de connaissances est basé sur des processus bien connus tels que les plans d'expériences, la consultation d'expert, etc. Nous nous focalisons sur la recherche de connaissances venant de domaines différents (consultation d'expert). Il s'agit par exemple de prendre en compte des connaissances en ergonomie, en sociologie du risque ou encore en psychologie afin d'étendre la connaissance que l'on a sur certaines actions de sécurité en fonctionnement dans un environnement et ainsi proposer de nouveaux concepts d'indicateurs. Cette extension des connaissances par la prise en compte d'autres disciplines est directement ancrée dans notre problématique de réalisation de l'évaluation dans un contexte multidisciplinaire. Nous considérons également tous les travaux de recherches qui sont réalisés afin de fournir des connaissances sur l'analyse des accidents de la route. Ce sont des connaissances expertes telles que par exemple les scénarios typiques d'accident ou encore les modèles théoriques d'aide à la compréhension des mécanismes accidentels.

Exemple 12.2 - Exemple de conception d'un indicateur pour l'évaluation des systèmes « car to x » - « Comment sélectionner les services/applications à mettre en œuvre ? »

Nous traitons le problème sur la sélection des services. L'objectif est de générer des indicateurs dont les valeurs serviront à répondre au problème d'évaluation suivant : « *Comment sélectionner les services/applications à mettre en œuvre ?* ».

Une des pistes de recherche consiste à définir les performances des services dans l'objectif d'identifier les plus performants ou ceux qui répondent aux exigences. Nous avons déjà vu que les performances en sécurité routière sont définies suivant différents axes (les positionnements évaluatifs).

Notre concept de départ est : « Un indicateur qui permet de décider la sélection d'un service ». La construction du concept de départ est basée sur la description du problème d'évaluation, nous cherchons un indicateur qui permet de répondre à ce problème.

L'activation des connaissances sur les positionnements évaluatifs ainsi que celles sur les services permet de construire de nouveaux concepts d'indicateurs (voir Figure 12.7). Nous déroulons une branche en prenant pour exemple un service dont l'objectif est le « *platooning* » (plusieurs véhicules se suivent automatiquement). L'utilisation de connaissances sur le contexte d'évaluation permet de générer un indicateur complet. Ce dernier doit encore être soumis à validation (validation opérationnelle et validation par rapport au problème d'évaluation).

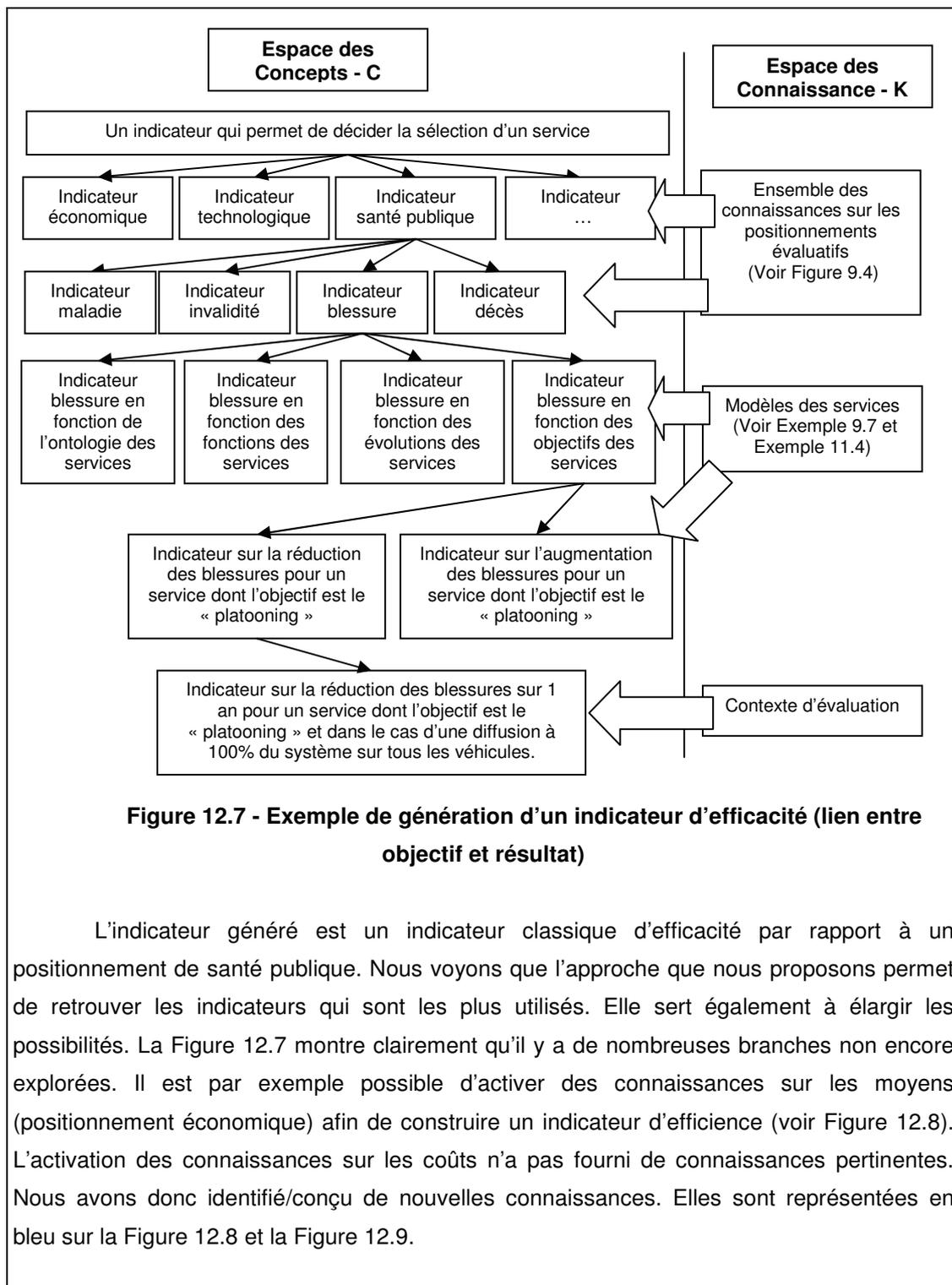


Figure 12.7 - Exemple de génération d'un indicateur d'efficacité (lien entre objectif et résultat)

L'indicateur généré est un indicateur classique d'efficacité par rapport à un positionnement de santé publique. Nous voyons que l'approche que nous proposons permet de retrouver les indicateurs qui sont les plus utilisés. Elle sert également à élargir les possibilités. La Figure 12.7 montre clairement qu'il y a de nombreuses branches non encore explorées. Il est par exemple possible d'activer des connaissances sur les moyens (positionnement économique) afin de construire un indicateur d'efficacité (voir Figure 12.8). L'activation des connaissances sur les coûts n'a pas fourni de connaissances pertinentes. Nous avons donc identifié/conçu de nouvelles connaissances. Elles sont représentées en bleu sur la Figure 12.8 et la Figure 12.9.

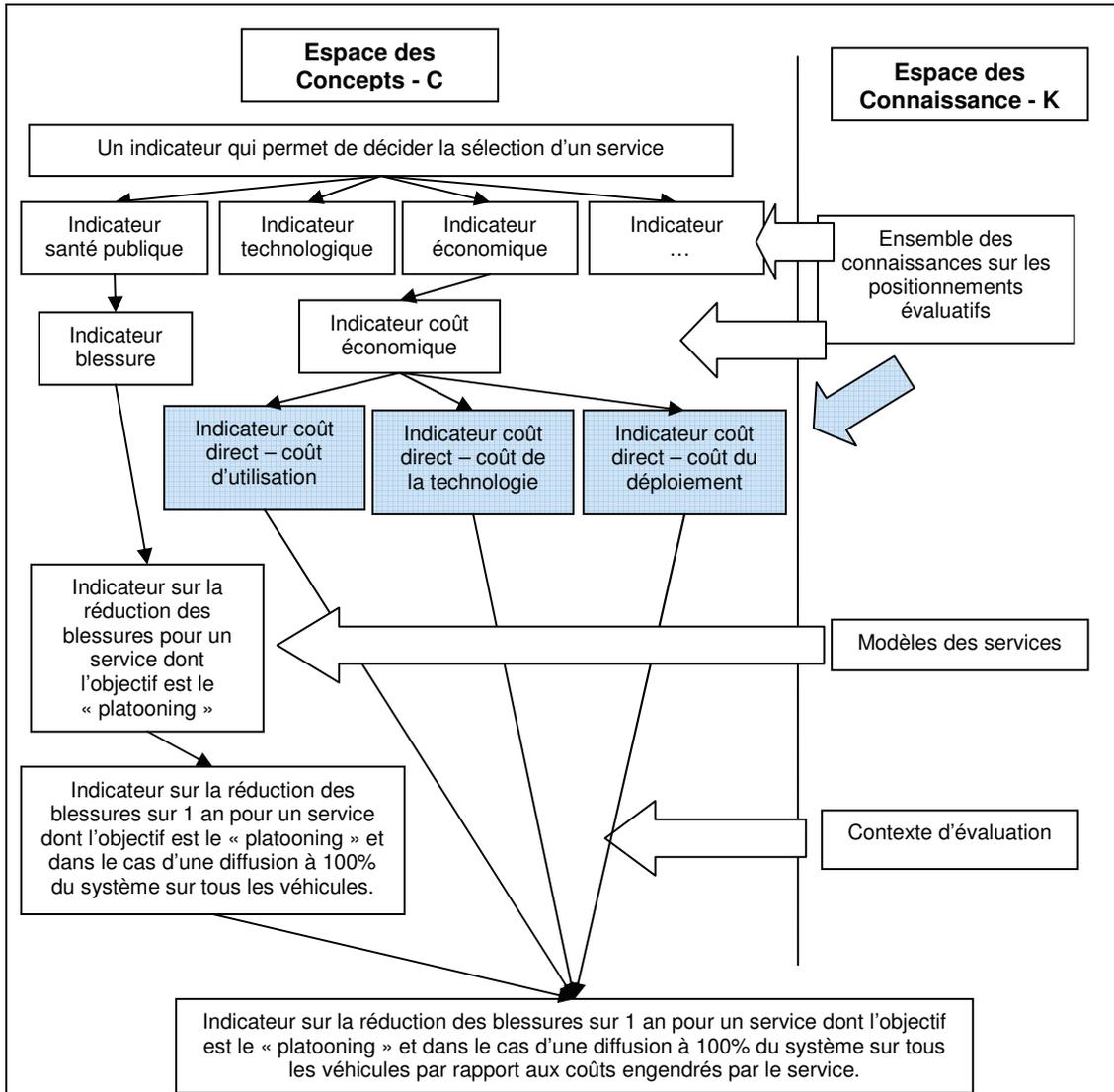


Figure 12.8 - Exemple de génération d'un indicateur d'efficacité

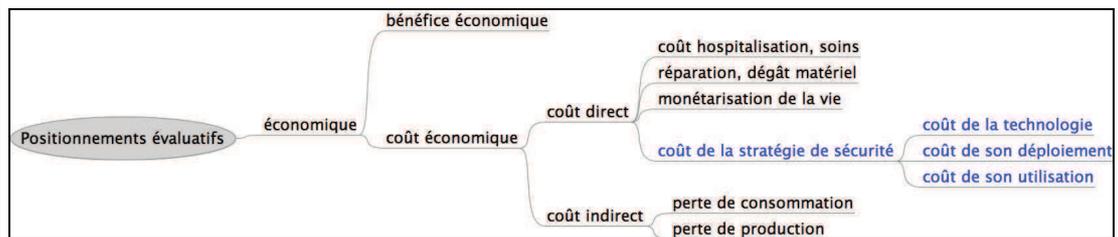


Figure 12.9 - Extension des connaissances sur le positionnement évaluatif économique

12.4.3. Fin du raisonnement de conception

Le raisonnement de conception s'arrête lorsque un ou plusieurs des concepts proposés acquiert un statut logique dans K. On parle alors de K-validation d'un concept C basé sur l'utilisation de l'opérateur $C \rightarrow K$. Cet opérateur est utilisé afin de transformer un concept d'indicateur en une question logique. Dans notre cas, la question logique fait dans un premier temps référence aux problèmes posés par les parties prenantes (on cherche à valider la pertinence des indicateurs) et dans un deuxième à la notion de réalisation (question sur l'existence de méthodes et de données permettant de calculer l'indicateur considéré). Cette hiérarchisation entre ces deux validations permet de répondre à notre besoin d'identifier des pistes de recherche. En effet, cette double validation permet d'identifier des axes à développer lorsqu'il n'y a pas de validation opérationnelle.

La validation par rapport aux problèmes des parties prenantes est un processus complexe basé sur l'expertise de l'évaluateur et les connaissances sur le cas d'évaluation. C'est l'évaluateur qui, au cours du processus de conception, décide de la validité du concept par rapport à un problème donné en formulant une question logique. Dans l'exemple du concept d'indicateur « efficacité technique de l'ESC », la question logique devient « est ce que ce concept d'indicateur est pertinent pour répondre au problème de validation de l'ESC ? ». Ce processus de questionnement permet de mettre en perspective les concepts d'indicateurs par rapport aux problèmes d'évaluations et ainsi décider de leur statut logique.

La validation opérationnelle permet d'aborder les contraintes et limites liées au calcul des indicateurs. Il peut s'agir de contraintes ou limites sur (1) les données ou sur (2) les méthodes de calcul. On peut par exemple ne pas avoir les données nécessaires au calcul d'indicateur ou bien ne pas posséder des méthodes de calcul permettant de fournir des résultats significatifs. Ces lacunes servent par exemple à spécifier de nouveaux systèmes de recueil de données. Dans le cas des méthodes, il s'agit par exemple de développer de nouveaux outils statistiques.

Dans le cas où les concepts d'indicateurs ne sont pas validés, que cela soit lié à la pertinence ou à l'opérationnalisation, il est nécessaire de définir des stratégies qui permettent de relancer le processus de conception. Nous avons pour cela identifié les stratégies suivantes :

- La théorie C-K définit le concept de départition du concept initial. Il s'agit de remonter à la disjonction initiale et départitionner le concept initial en définissant une disjonction plus générale. Dans l'exemple de l'indicateur « efficacité technique de l'ESC » on pourrait alors formuler une disjonction plus générale du type « efficacité technique d'un système technologique évitant le sur et le sous virage ». Ce procédé permet

d'activer de nouvelles connaissances et ainsi générer de nouveaux concepts d'indicateurs.

- Par analogie avec ce premier point, on imagine une approche par partitionnement telle qu'elle est décrite par l'opérateur $C \rightarrow K$ puis $K \rightarrow C$. Il s'agit de regarder à des niveaux de granularité inférieurs si l'on peut générer des concepts plus pertinents et opérationnellement calculables.
- Enfin, une troisième approche consiste à analyser le problème d'évaluation et voir s'il est possible de le décomposer en sous- problèmes qui acceptent une solution (voir section 12.2).

12.5. Synthèse

Ce chapitre détaille la stratégie globale permettant d'aborder la construction d'indicateurs pertinents pour les parties prenantes. Nous présentons deux stratégies qui ont comme point de départ notre définition systémique du concept d'indicateur. La première est basée sur la réutilisation et l'adaptation d'indicateurs existants. La seconde est basée sur la conception (conception et théorie C-K). Celle-ci est utilisée pour générer des concepts d'indicateurs en abordant l'utilisation des connaissances multipoints de vue que l'on a sur le cas d'évaluation.

Nous pouvons identifier des cas d'évaluation similaires pour lesquelles nous avons des indicateurs qu'il suffit de réutiliser ou d'adapter. La similarité est définie sur 5 niveaux : les quatre premiers sont basés sur 4 concepts du méta modèle qui sont « partie prenante », « positionnement évaluatif », « action de sécurité » et « problème d'évaluation ». Le dernier est une synthèse de ces 4 concepts (utilisation de l'indice de Jaccard).

La conception automatique des indicateurs est utilisée pour générer des propositions d'indicateur à partir des connaissances sur les cas d'évaluation, sur la formulation mathématique des indicateurs et sur les règles de composition. Pour le moment, c'est une méthode pour laquelle des recherches doivent être effectuées sur la sélection des indicateurs. Le nombre de propositions est beaucoup trop important pour que cette méthode soit utilisable par les évaluateurs.

L'utilisation de la théorie C-K propose une stratégie de conception des indicateurs dans laquelle les différents points de vue sont utilisés. C'est une approche dans laquelle on aborde également la construction des connaissances. La théorie C-K permet de formaliser une approche de génération des indicateurs dans laquelle la conception et la construction de nouvelles connaissances sont réalisées en parallèle.

Synthèse des travaux

Les chiffres de la sécurité routière se sont significativement améliorés dans les pays développés durant ces trente dernières années. La situation reste cependant préoccupante et de nouvelles stratégies de sécurité routière sont encore nécessaires. A l'inverse de ces pays, nous observons une dégradation de la situation dans les pays émergents. Cette dégradation s'explique par l'augmentation de la population et/ou du taux d'équipement en véhicules. Pour l'ensemble de ces pays (développés et émergents), ces problèmes de sécurité routière sont déclinés suivant des enjeux de santé publique, économiques, politiques, environnementaux et technologiques.

L'évaluation est une activité qui permet aux hommes d'avoir un retour a priori ou a posteriori sur les performances de leurs actions. Sa conception et sa réalisation sont exécutées par des évaluateurs qui utilisent les connaissances issues de leurs expériences mais aussi les modèles théoriques décrivant en partie ou totalement l'activité d'évaluation.

Dans le domaine de la sécurité routière, les enjeux sur l'activité d'évaluation concernent la recherche de nouvelles approches pour réaliser l'évaluation de stratégies de sécurité routière en considérant l'ensemble de leurs performances. Pour atteindre cet objectif, les évaluateurs ont besoin d'une formalisation théorique de l'évaluation.

Dans notre travail, nous avons proposé un cadre théorique de l'activité d'évaluation qui a pour objectif de guider les évaluateurs dans la réalisation de leur activité. Cette proposition est à la fois basée sur l'expertise et les capacités des évaluateurs ainsi que sur des outils de modélisation et de conception. Pour construire un tel cadre, nous avons utilisé une démarche de modélisation construite sur les connaissances en épistémologie, en systémique et en ingénierie de la connaissance.

Notre positionnement épistémologique est un mixte du paradigme positiviste et constructiviste. Ce choix est justifié par le besoin de modéliser l'activité d'évaluation en considérant la diversité des contextes d'évaluation et la diversité des points de vue. Il est également justifié par le besoin de considérer la complexité (le constructivisme) mais aussi la simplicité ou la complication (le positivisme) des systèmes ou activités que l'on cherche à modéliser.

Notre approche opérationnelle de modélisation repose sur la systémodigraphie (voir Figure 12.10). Nous utilisons conjointement des connaissances théoriques et l'expertise des évaluateurs pour ce travail de modélisation.

Les connaissances théoriques sont premièrement celles sur l'activité d'évaluation. Elles sont formalisées sous le modèle général en 5 phases (voir Figure 12.11). Secondement, elles sont celles sur la conjonction systémique. Tout système modélisé l'est par la modélisation de ses composants (axe ontologique), de son fonctionnement (axe fonctionnel) et de ses évolutions (axe génétique) par rapport à ses objectifs (axe téléologique) et par rapport à un environnement actif. Par ailleurs, la

systémique considère la notion de point de vue. Cela permet d'appréhender chaque évaluation en fonction des différentes parties prenantes et de différencier les évaluateurs qui la réalisent.

L'étude des pratiques en évaluation et la réalisation de séances de travail nous ont permis de formaliser des connaissances expertes. Ces dernières ont été utilisées pour la construction et l'instrumentation des différents modèles théoriques. Par exemple, les connaissances expertes sur les problèmes d'évaluation ont permis de modéliser le concept « problème d'évaluation » (définition des attributs le caractérisant). Celui-ci fait partie intégrante du modèle ontologique de l'activité d'évaluation.

Cette démarche de modélisation basée à la fois sur des connaissances théoriques et expertes repose sur l'utilisation d'une approche mixte de modélisation développée en ingénierie de la connaissance. Celle-ci permet de guider la modélisation par la réutilisation de modèles déjà existants et par la prise en compte des points de vue des experts.

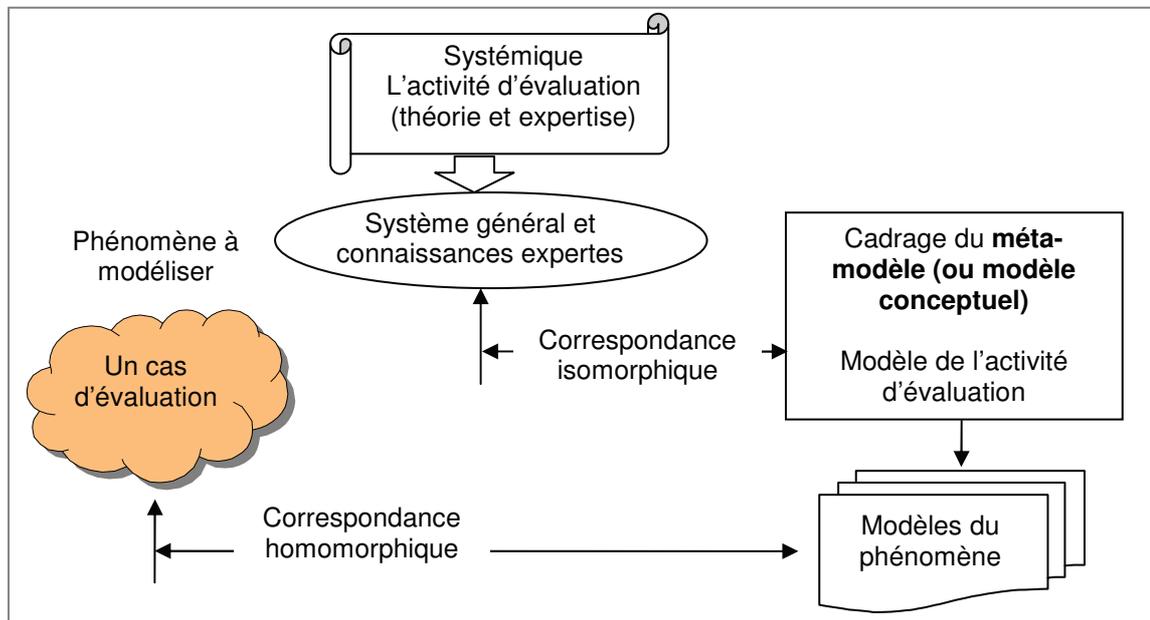


Figure 12.10 - Modélisation dirigée par un système général, modifié et adapté de [Le Moigne, 1999]

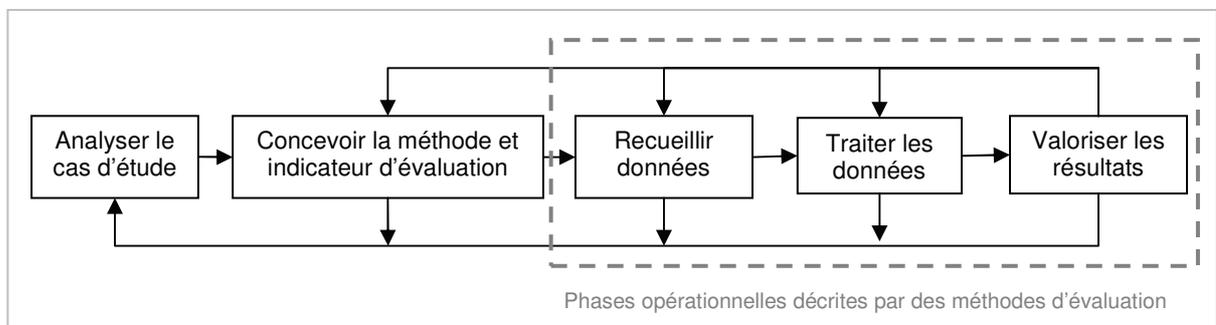


Figure 12.11 - Modèle général de l'activité d'évaluation

Le résultat obtenu est un méta-modèle au sens de la systémique ou un modèle conceptuel au sens de l'ingénierie des connaissances. Premièrement, il est composé de modèles structurels qui décrivent l'ensemble des concepts pertinents pour la réalisation des évaluations. Secondement, il est

composé de modèles fonctionnels qui décrivent les activités à mettre en œuvre pour réaliser les évaluations.

Nous nous sommes focalisés sur la description de la phase d'analyse du cas d'évaluation et celle de conception des indicateurs d'évaluation qui (fait partie de la phase de conception de l'évaluation). Ce choix est motivé par le fait que les besoins en modèles et méthodes sont plus importants pour les premières phases de l'activité d'évaluation. Les autres phases, plus opérationnelles, font déjà l'objet de nombreuses études (mise en place de l'observatoire européen de sécurité routière ou encore le développement d'outils statistiques).

La première phase du modèle d'évaluation, qui est celle d'analyse, a pour objectif de modéliser le cas d'évaluation traité. Les modèles à construire sont ceux des parties prenantes et de leurs attentes, de la stratégie de sécurité à évaluer et du contexte d'évaluation. Pour atteindre cet objectif, nous avons développé deux approches. La première sert à modéliser les problèmes d'évaluation (en termes de formalisation et de construction). La seconde permet la modélisation de la stratégie de sécurité routière évaluée en interaction avec un contexte d'évaluation.

Pour modéliser les problèmes d'évaluation, nous proposons une structure ontologique dans laquelle figurent les concepts pertinents qu'un évaluateur doit renseigner pour décrire un problème d'évaluation. Des activités à destination des évaluateurs afin de gérer la formalisation et la construction des problèmes d'évaluation sont associées à la structure ontologique.

La formalisation repose sur l'identification des attentes des parties prenantes. L'une des principales difficultés de cette tâche est de ne pas avoir une demande précise des parties prenantes. Elles ne sont pas toujours accessibles ou elles ne sont pas en moyen d'exprimer clairement leurs attentes. En plus de son travail de formalisation, l'évaluateur a alors en charge la construction des problèmes. Cette activité repose sur la recherche de cas similaires déjà traités, sur l'analyse des stratégies de sécurité évaluées et sur l'ajout de nouvelles parties prenantes. Ces trois stratégies permettent à l'évaluateur de se poser les questions pertinentes pour identifier des problèmes en lien avec le cas d'étude.

La proposition sur la modélisation des problèmes d'évaluation est synthétisée dans la Figure 12.12.

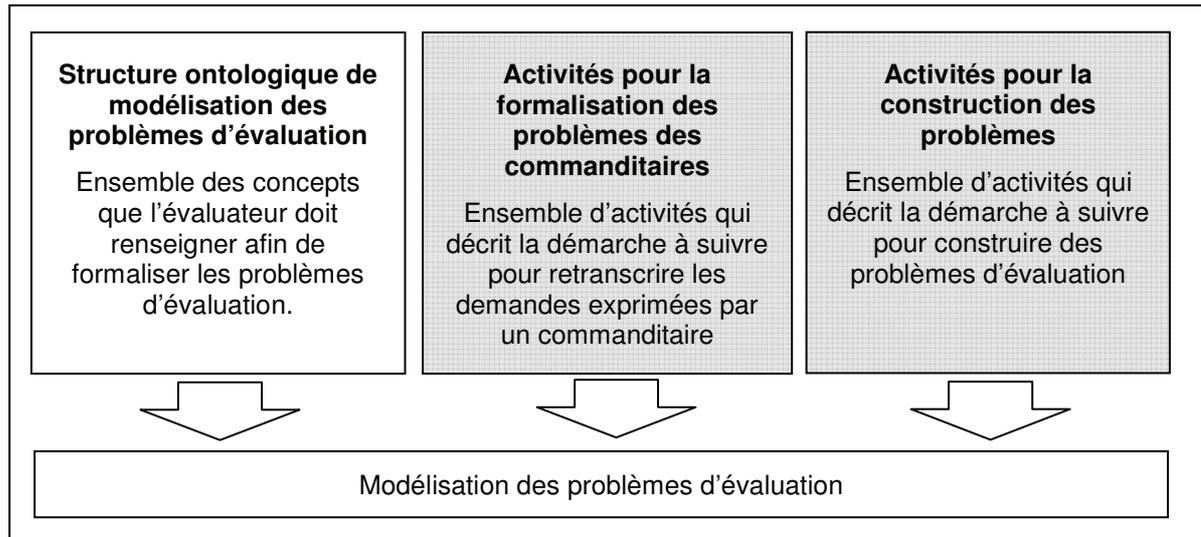


Figure 12.12 - Synthèse des propositions pour la modélisation des problèmes d'évaluation

Pour la modélisation des stratégies de sécurité, le même type de résultat a été proposé : un modèle structurel et un modèle d'activité. L'objectif de cette tâche est de modéliser la stratégie de sécurité évaluée pour sa compréhension.

La principale difficulté réside dans la construction de modèles intégrant la complexité. Cette caractéristique rend difficile la modélisation car elle implique l'imprévisibilité. Notre proposition est focalisée sur l'ontologie de la stratégie et sur les interactions entre ses éléments ainsi qu'avec ceux de son environnement. La compréhension des interactions conduit à une réflexion globale sur les fonctionnements et évolutions d'une stratégie en fonction de son environnement.

Nous synthétisons les activités décrivant la modélisation des stratégies de sécurité dans la Figure 12.13.

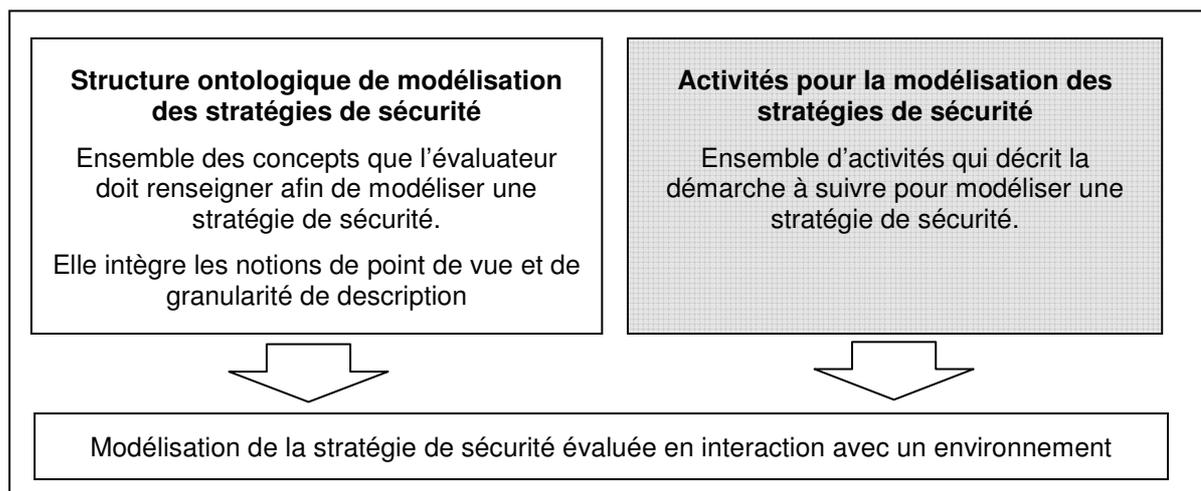


Figure 12.13 - Synthèse des propositions pour la modélisation des stratégies de sécurité

La deuxième phase (par rapport au modèle en cinq phases de l'évaluation) que nous avons traité dans notre recherche est celle de génération des indicateurs. Son objectif est d'identifier ou de concevoir des indicateurs pertinents par rapport aux cas d'évaluation. Les connaissances formalisées dans la première phase sont donc utilisées. Elles spécifient les problèmes auxquels les indicateurs

doivent permettre de répondre ainsi que les connaissances utilisables pour construire ou identifier les indicateurs.

Le premier travail que nous avons effectué sur les indicateurs est un travail de définition. Un indicateur est un objet numérique calculable, constitué d'éléments, qui renseigne sur les performances objectives d'une stratégie de sécurité.

Nous avons ensuite travaillé à formaliser des approches pour les générer ; trois sont proposées (voir Figure 12.14). La première consiste à identifier des cas similaires d'évaluation et ainsi réutiliser des indicateurs déjà existants. La description des cas d'évaluation rend possible la recherche d'indicateurs par similarité. Nous pouvons calculer la distance entre chaque cas d'évaluation et ainsi déterminer ceux qui sont les plus proches en termes de problèmes ou de parties prenantes par exemple. Une étape d'adaptation peut être nécessaire lorsque certains éléments du cas d'évaluation diffèrent. La seconde consiste à utiliser la structure des indicateurs pour générer automatiquement des propositions d'indicateurs par combinaison des items décrivant le cas d'étude (éléments de modélisation) ou les indicateurs élémentaires. Cette approche, qui génère rapidement un grand nombre de possibilités, implique une tâche de sélection des indicateurs pertinents. Dans la dernière approche, l'évaluateur utilise une théorie de créativité pour construire de nouveaux indicateurs, c'est la théorie C-K. Son objectif est d'encourager les évaluateurs à utiliser toutes les connaissances sur l'évaluation pour proposer de nouveaux indicateurs. Elle est basée sur l'utilisation des connaissances existantes mais propose également de gérer l'acquisition de nouvelles connaissances. Au fur et à mesure que l'évaluateur avance dans la conception, il acquiert de nouvelles connaissances qui peuvent être directement utilisées dans la conception des indicateurs.

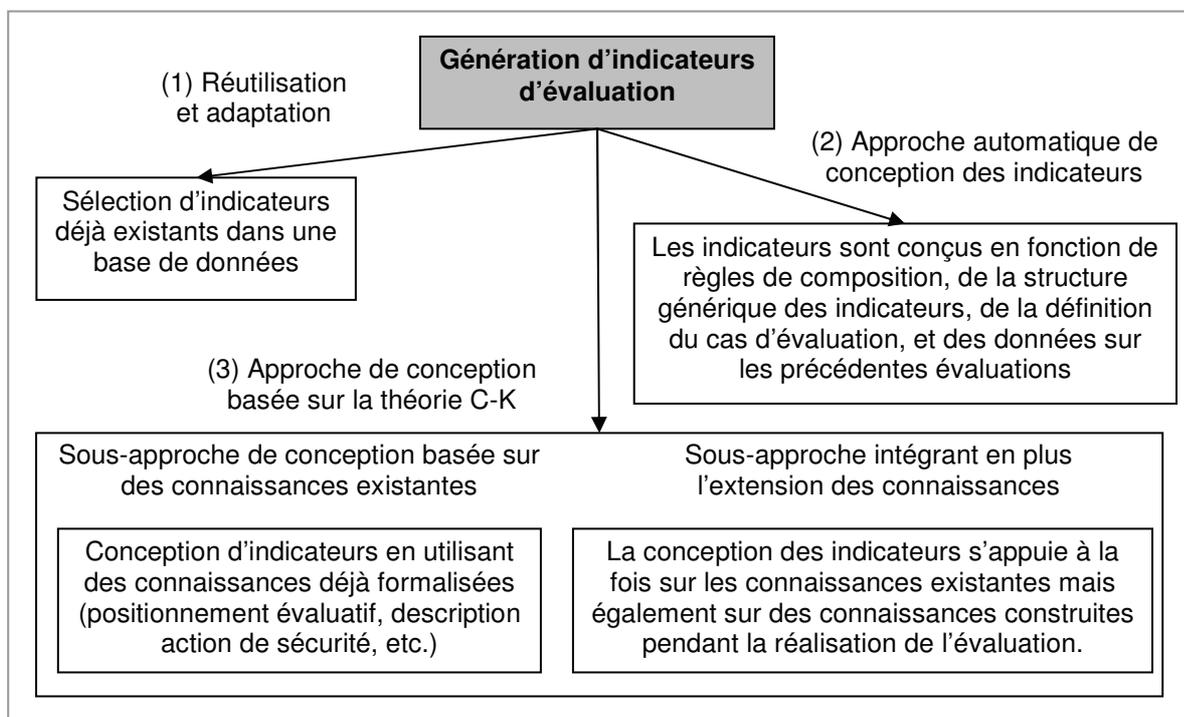


Figure 12.14 - Synthèse des approches et des sous-approches utilisées pour la génération des indicateurs

Le cadre général de l'activité d'évaluation que nous proposons est destiné aux évaluateurs. Son objectif est de les guider dans la conception et la réalisation des évaluations. Ce cadre décrit les éléments à considérer ainsi que les activités à réaliser. Néanmoins, sa réalisation nécessite des compétences créatives de la part des évaluateurs. La bonne utilisation de ce cadre requière donc que les évaluateurs acquièrent les connaissances suffisantes pour comprendre son fonctionnement. Ce n'est pas uniquement une méthode déterministe qu'il suffit d'appliquer. C'est une approche qui pousse l'évaluateur à formaliser les bonnes connaissances et à se poser les bonnes questions.

Nos travaux de recherche ont conduit à des contributions en évaluation, en sécurité routière, et en modélisation des connaissances.

En **évaluation**, notre proposition fournit une aide au dialogue entre les évaluateurs et les parties prenantes. En effet, grâce à la structure ontologique de l'activité d'évaluation, l'évaluateur est guidé dans la recherche d'informations pertinentes pour la réalisation de l'évaluation. Il utilise par exemple une requête d'évaluation qui sert à formaliser une demande d'une partie prenante. Notre proposition fournit également une méthode de formalisation des cas d'étude. L'évaluateur est guidé dans l'identification et la construction du cas qu'il doit traiter. Il formalise à la fois des connaissances sur les problèmes d'évaluation et sur les stratégies de sécurité à évaluer. Ces connaissances sont construites en fonction des points de vue des parties prenantes et permettent donc à l'évaluateur de construire des évaluations qui soient pertinentes. Nous détaillons également la structure des indicateurs. Cela nous permet de définir des méthodes pour la construction et l'évolution des indicateurs. L'évaluateur utilise alors les connaissances sur le cas d'évaluation et les cas déjà traités pour identifier, construire, valider et faire évoluer des indicateurs. Ainsi, l'évaluateur est en mesure de définir de nouveaux indicateurs qui sont pertinents par rapport aux parties prenantes et qui sont adaptés à l'environnement complexe de la sécurité routière. Enfin, notre proposition est adaptée aux contraintes et aux pratiques de l'évaluation. La structure ontologique et les méthodes proposées pour décrire l'activité d'évaluation peuvent être utilisées en fonction des évaluateurs. Chaque cas d'évaluation ne nécessite pas nécessairement d'être traité de la même façon. L'évaluateur peut par exemple décider de ne pas modéliser de façon détaillée une stratégie de sécurité ou de concevoir de nouveaux indicateurs.

En **sécurité routière**, la réalisation de l'activité d'évaluation telle que nous la décrivons permet tout d'abord de participer à la construction de nouvelles connaissances sur la sécurité routière. De part ses interactions avec son environnement d'évaluation, l'évaluateur est conduit à construire de nouvelles connaissances. Ces dernières concernent la description et la compréhension des phénomènes, les résultats d'évaluations mais aussi les pratiques de l'évaluation. L'évaluation participe également à l'amélioration de la sécurité routière. En effet, ses résultats sont directement utilisés pour prendre des décisions sur les stratégies de sécurité avec pour objectif d'améliorer certaines ou toutes les performances liées à la sécurité routière. Enfin, notre proposition de prise en compte des points de vue dans la modélisation et la conception conduit à l'identification de nouvelles

disciplines pour la réalisation des évaluations. Ceci permet de développer la collaboration entre les domaines de la sécurité routière.

En **modélisation**, nous développons une approche basée sur la systémo-graphie utilisant une approche mixte de modélisation, les connaissances en systémique et sur l'activité d'évaluation. Elle est utilisée afin de construire le méta-modèle de l'activité d'évaluation que l'on utilise comme « pattern » pour la réalisation des évaluations.

Cette proposition permet la construction de modèles adaptés aux systèmes complexes mais également à ceux qui sont compliqués voir simples car notre positionnement épistémologique est à la fois constructiviste et positiviste. Ensuite, l'utilisation d'une approche systémique de modélisation fournit les éléments théoriques nécessaires à la recherche de la complétude dans la modélisation. En effet, les quatre axes systémiques (ontologique, fonctionnel, génétique et téléologique) orientent la modélisation vers la recherche d'une compréhension globale des systèmes. L'approche systémique conduit également à la construction de modèles multipoints de vue. Grâce à cela, l'évaluateur a la capacité de modéliser les problèmes d'évaluation et les stratégies de sécurité routière en fonction des parties prenantes. Il a ainsi les connaissances nécessaires pour la réalisation d'évaluations pertinentes. Notre approche de modélisation étant une approche mixte de modélisation, nous construisons des modèles à partir d'une réalité évaluative (approche ascendante basée sur l'expérience des évaluateurs) et à partir des modèles génériques déjà existants.

Enfin, le méta-modèle que nous fournissons permet l'acquisition de nouvelles connaissances. Il est possible d'ajouter des connaissances sur l'activité d'évaluation car nous utilisons un modèle ouvert. Mais surtout, la structure ontologique du méta-modèle est un outil efficace pour formaliser les connaissances décrivant une évaluation.

Limitations sur l'utilisation des résultats

La première limite de cette étude concerne le traitement partiel du modèle général de l'évaluation : deux des cinq phases ont été modélisées. Actuellement, notre modèle ne permet pas de réaliser les évaluations dans leur globalité. Néanmoins, il a la capacité de s'adapter à de futures évolutions. Par exemple, dans le cadre du projet Européen DaCoTa, notre objectif de recherche est de formaliser une passerelle entre les phases d'analyse/de conception et les phases opérationnelles de réalisation de l'évaluation (recueil données et calcul des indicateurs). Les informations sur le cas d'étude et les indicateurs constituent un cahier des charges utilisables pour définir les méthodes d'évaluation. Lorsque ces dernières sont préexistantes ; l'évaluateur doit être en mesure de les identifier en fonction des besoins. Nous proposons pour cela d'utiliser une approche de calcul de similarité (distance entre les attributs de cas d'étude). Dans le cas contraire, plusieurs possibilités sont envisageables. La première consiste à adapter les indicateurs aux méthodes et données disponibles. L'autre consiste à proposer une nouvelle méthode d'évaluation. Ce travail complémentaire est une première évolution du modèle que nous proposons. Néanmoins, d'autres développements tel que celui-ci sont encore nécessaires pour arriver à un modèle général.

La deuxième limite est liée à l'exemple fil rouge qui est développé tout au long du mémoire. Le C2X est un exemple complexe qui contient de nombreux enjeux. Nous n'avons pu tous les développer dans le mémoire. Les résultats le concernant sont limités à certains aspects des possibilités de notre modèle. La seule lecture de cet exemple ne permet donc pas de garantir une compréhension générale de notre proposition. D'autres exemples doivent être développés afin d'illustrer au mieux toutes les possibilités des modèles.

La vision des indicateurs qui est utilisée dans notre recherche est limitée à une définition numérique. Or, nous savons que tout ne peut pas être évalué avec une vision uniquement numérique. Des indicateurs qualitatifs sont également utilisables en sécurité routière (exemple de l'évaluation du niveau de sécurité perçu par les usagers). La prise en compte de cette dimension imposerait la révision de certains de nos modèles. Par exemple, la caractérisation des concepts et des liens existants entre eux devraient être révisés pour permettre la prise en compte d'indicateurs de types différents. C'est surtout au niveau de la conception des indicateurs que la réflexion serait la plus importante. En effet, la définition structurelle des indicateurs, qui est à la base de l'approche de conception, oriente la création vers des indicateurs quantitatifs. Une autre définition conduirait à la construction d'une autre méthode de conception.

Enfin, la définition du système général, qui est utilisée dans la systémographie, est limitée à quelques modèles (l'activité d'évaluation et la conjonction systémique). Ces derniers ne sont pas suffisants pour appréhender tous les besoins. La modélisation de la complexité nécessite par exemple la définition de modèles théoriques permettant d'expliquer les processus d'adaptation ou de communication. Certains de ces modèles ont déjà été définis mais nous ne les avons pas utilisés. Nous avons besoin de faire une revue critique de notre système général pour formaliser nos besoins et ainsi permettre d'identifier les modèles pertinents ou d'en proposer des nouveaux.

Discussion

Dans cette recherche, nous utilisons un positionnement comportemental (au sens de l'activité) et créatif de l'évaluation. En effet, lorsqu'un évaluateur réalise une évaluation, il doit mettre en œuvre des processus de réflexions, de modélisation, de conception et de réalisation. Cette approche a été choisie par rapport à une approche plus déterministe de l'évaluation. Cette dernière aurait consisté à construire un modèle absolu de l'évaluation dans lequel toutes les solutions seraient préexistantes. Les intérêts d'une telle démarche résident dans la rapidité de mise en œuvre et la répétabilité. En effet, une approche déterministe permet l'utilisation rapide et répétable de méthodes déjà formalisées et validées. Néanmoins, ce type d'approche semble irréaliste de part la difficulté d'être exhaustif dans l'identification des cas à traiter et des méthodes d'évaluation associées. De plus, nous avons identifié le besoin de considérer l'évolution permanente des attentes d'évaluation et des stratégies de sécurité associées à un contexte. Ceci implique la recherche de nouveaux indicateurs ou outils d'évaluation et donc la nécessité de posséder des méthodes créatives.

Nous postulons de la complexité à la fois de l'activité d'évaluation et du système routier. Pour les modéliser, une approche basée sur l'épistémologie constructiviste et la systémique a été choisie.

Plusieurs remarques (ou critiques) ont été émises sur l'utilisation de ce paradigme épistémologique. Nous exposons ici les deux principales : (1) ce positionnement implique de la part des évaluateurs l'acquisition de connaissances théoriques difficiles d'accès auxquelles ils ne sont pas habitués et (2) ils estiment parfois que l'apport est très limité puisqu'ils ont déjà l'impression d'utiliser les mêmes approches mais de façon intuitive. En lien avec ces remarques, nous posons ici la question de la pertinence du choix de cette théorie en termes de modélisation et d'utilisabilité. Est-ce que le paradigme positiviste ne garantirait pas des résultats plus pertinents (meilleur compromis) par rapport au constructivisme et la systémique ?

Tout d'abord, la formalisation d'une démarche intuitive permet de proposer des démarches structurées pour lesquelles les tenants et les aboutissants sont connus. Ensuite, la systémique fournit une base de réflexion qui permet d'intégrer des problématiques qui ne sont pas suffisamment traitées pour le moment. Tous les enjeux liés à l'anticipation, à l'humain, ou encore à la multidisciplinarité sont plus accessibles avec une approche systémique.

Afin d'identifier les indicateurs les plus pertinents, nous n'avons pas intégré les contraintes opérationnelles dans les premières phases de l'activité d'évaluation. Ainsi l'évaluateur ne se limite pas aux indicateurs qu'il maîtrise mais il cherche ceux qui répondent le mieux à un problème donné. Néanmoins, ce procédé peut aboutir à la construction d'indicateurs qui sont incalculables et donc inutilisables sans un travail supplémentaire sur les outils et/ou les données. L'intérêt d'intégrer très en amont les contraintes permet justement d'éviter ce genre de problématiques. Néanmoins, un de nos objectifs est de participer à l'amélioration des pratiques d'évaluation. L'identification des pistes de recherche et d'amélioration fait donc partie de notre travail de recherche. Pour ces raisons, l'identification des pistes de recherches et des indicateurs pertinents, la non prise en compte des limites opérationnelles dans la phase amont de conception des indicateurs est pertinente dans notre travail de recherche.

Perspectives

L'application de notre proposition participe au développement des connaissances en sécurité routière. Elles émergent de l'interaction entre l'évaluateur et son environnement. Au fur et à mesure qu'il réalise son activité, il construit de nouvelles connaissances qui lui permettent de continuer à progresser. Elles sont liées à l'activité d'évaluation mais aussi à la sécurité routière. Elles concernent par exemple les stratégies de sécurité routière ainsi que les problématiques de sécurité existantes (évaluation descriptive) ou futures (évaluation prospective). Nous pensons que cette perspective d'évolution des connaissances participe à l'évolution globale de l'**accidentologie** (aussi bien sur sa définition que sur ses pratiques).

Notre travail de recherche fournit un modèle adapté à la réalisation partielle d'évaluation en sécurité routière. De telles réalisations nécessitent un niveau de connaissance élevé des théories qui sont à la base de notre modèle. Pour le moment, c'est surtout un cadre de pensée qui a été formalisé. De plus, il y a à ce stade de la recherche un manque d'outils opérationnels. Ces différents points sont contraires à la volonté de systématiser l'utilisation de notre approche. Les perspectives sur l'**activité d'évaluation** sont donc de finaliser notre modèle, de le rendre opérationnel et de le rendre utilisable (en termes de compréhension du modèle). Ces enjeux se déclinent en différentes recherches en collaboration avec les évaluateurs.

Les perspectives par rapport à l'**activité de modélisation des connaissances** concernent la réflexion sur l'élargissement de notre système général (implique une révision de notre méta modèle). La définition du système général que nous utilisons est une base pour la modélisation mais elle n'est pas complète. De nouveaux modèles de compréhension doivent être ajoutés pour instrumenter les quatre axes systémiques. Des modèles pour la compréhension des phénomènes d'adaptation ou de transformation du système sont par exemple nécessaires. Cette recherche est motivée par la volonté de pouvoir réaliser des évaluations a posteriori mais aussi a priori. Dans les deux cas, le niveau de compréhension des phénomènes influent directement sur la réalisation des évaluations. Ceci est d'autant plus vrai pour les systèmes de sécurité en cours de développement pour lesquels l'interaction entre les différentes entités du système routier est un point central (exemple du C2X). De nombreuses interactions impliquent l'augmentation du niveau de complexité.

Les perspectives en **sécurité routière** par rapport à l'utilisation de notre modèle concernent la sélection et la construction des stratégies de sécurité. C'est une réflexion qui doit se conduire aussi bien pour les pays développés où la situation en sécurité routière s'est nettement améliorée que pour les pays émergents qui risquent de subir une augmentation notable de l'insécurité routière. Ce travail doit suivre notre démarche d'évaluation. Il y a tout d'abord un travail à faire sur l'identification et la distinction des différentes parties prenantes, de leurs attentes mais aussi de leur activité. A cela s'ajoute le besoin de formaliser les contextes de mise en œuvre des éventuelles stratégies de sécurité. C'est un point primordial car rien ne permet de penser que la solution consiste à transférer ce qui a fonctionné dans certains pays vers les pays émergents. C'est justement par la compréhension des systèmes de valeur (lié à la compréhension du contexte) que nous pourrions apporter des réponses pertinentes d'évaluation.

Bibliographie

Ackoff, R., (1971), *Towards a system of systems concepts*, Management Science, Vol.17 (11), pp.661-671.

Alavi, M. and Leidner, D., (2001), *Review: Knowledge management and knowledge management systems: Conceptual foundations and research issues*, MIS Quarterly, pp.107-136.

Altshuller, G.,(1999). *The innovation algorithm: TRIZ, systematic innovation and technical creativity*, Technical Innovation Ctr,

Argyris, C., (1976), *Single-loop and double-loop models in research on decision making*, Administrative Science Quarterly, Vol.21 (3), pp.363-375.

Argyris, C., (1977), *Double loop learning in organizations*, Harvard Business Review, Vol.55 (5), pp.115-125.

Ashby, W., (1962), *Principles of the self-organizing system*, Principles of Self-organization: Transaction of the University of Illinois Symposium, H. Von Foerster and G.W.Zopf, Jr (eds.), pp.255–278.

Aussenac-Gilles, N., (2005), *Méthodes ascendantes pour l'ingénierie des connaissances*, Université Paul Sabatier,

Bahill, A. and Gissing, B., (1998), *Re-evaluating systems engineering concepts using systems thinking*, IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, Vol.28 (4), pp.516-527.

Baker, J. S. and Fricke, L. B.,(1986). *The traffic-accident investigation manuel. At-scene investigation and technical follow-up*, Northwestern University Traffic Institute, Evanston, Illinois.

Bekhti, S. and Matta, N., (2002), *Traceability and knowledge modelling*, KNOWLEDGE MANAGEMENT AND ORGANIZATIONAL MEMORIES,

Bekhti, S., Matta, N., Andéol, B. and Aubertin, G., (2001), *Représentation des connaissances dans une mémoire de projet*, Document numérique, (2001/3), pp.193-209.

Ben Ahmed, W., (2004), *SAFE-NEXT : Une Approche Systémique Pour L'Extraction De Connaissances De Données. Application A La Construction Et A L'Interprétation De Scénarios D'Accidents De La Route*, Laboratoire Génie Industriel, Ecole Centrale Paris, Châtenay Malabry.

Ben Ahmed, W., Mekhilef, M., Yannou, B. and Bigand, M., (2009), *Evaluation framework for the design of an engineering model*, AI EDAM, Vol.24 (01), pp.107-125.

Bertalanffy, L.,(1968). *Théorie générale des systèmes*, Dunod, Paris,

Bisson, G., (2000). *La similarité: une notion symbolique/numérique*, pp.169-201, B. E. C. Eds Moulet,

Boldrini, J., (2005), *L'accompagnement des projets d'innovation. Le suivi de l'introduction de la méthode TRIZ dans des entreprises de petite taille.*, Centre de Recherche en Gestion de Nantes-Atlantique (CRGNA), Université de Nantes, Nantes, France.

Brenac, T. and Fleury, D., (1999), *Le concept de scénario type d'accident de la circulation et ses applications*, Recherche Transport Sécurité, Vol.63 pp.63-77.

Brenac, T. and Megherbi, B., (1996), *Diagnostic de sécurité routière sur une ville: intérêt de l'analyse fine de procédures d'accidents tirées aléatoirement*, RTS-Recherche Transports Securite, Vol.52 pp.59-71.

Briand, S., (2000), *Évaluation des systèmes de surveillance épidémiologique: analyse de différentes approches à partir d'une étude en Équateur*, Santé publique, Vol.12 pp.443-55.

Burton, D., Delaney, A., Newstead, S., Logan, D. and Fildes, B., (2004), *Effectiveness of ABS and vehicle stability control systems*,

- Capron, M. and Quairel-Lanoizelee, F.**, (2006), *Evaluer les stratégies de développement durable des entreprises: l'utopie mobilisatrice de la performance globale*, Revue de l'organisation responsable, Vol.1 (1),
- Carroll, A.**, (1991), *The pyramid of corporate social responsibility: toward the moral management of organizational stakeholders*, Business horizons, Vol.34 (4), pp.39-48.
- Cavallucci, D. and Lutz, P.**, (2000), *Intuitive Design Method (IDM), A New Approach on Design Methods Integration*, Proceeding of ICAD2000: First International Conference on Axiomatic Design, Cambridge.
- Charlet, J.**, (2002), *L'ingénierie des connaissances: développements, résultats et perspectives pour la gestion des connaissances médicales*,
- Comte, A.**,(1848). *Discours sur l'ensemble du positivisme*, GF Flammarion, Paris, Edition 1998.
- Contandriopoulos, A., Champagne, F., Denis, J. and Avargues, M.**, (2000), *L'évaluation dans le domaine de la santé: concepts et méthodes*, Rev Epidemiol Santé Publique, Vol.48 pp.517-39.
- COWI**, (2004), *Cost-benefit assessment and prioritization of vehicle safety technologies*, Brussels, European Commission.
- De Blaeij, A., Florax, R., Rietveld, P. and Verhoef, E.**, (2003), *The value of statistical life in road safety: a meta-analysis*, Accident Analysis & Prevention, Vol.35 (6), pp.973-986.
- De Bono, E.**,(2004). *La boîte à outils de la créativité*, Paris.
- De Ridder, S., Hogema, J. and Hoedemaeker, M.**, (2003), *The Dutch Experience with Lane Departure Warning Assistant Systems: A Field Operational Test*, Soesterberg, The Netherlands.
- Derriks, H. and Mak, P.**, (2007), *IRTAD special report, Underreporting of road traffic casualties*, IRTAD, The Hague, Netherlands.
- Descartes, R.**,(1637). *Discours de la méthode*, Edition 1992. Flammarion, Paris.
- Dieng, R.**, (1990), *Méthodes et outils d'acquisition des connaissances*, INRIA - Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique,
- Donnadieu, G., Durand, D., Neel, D., Nunez, E. and Saint-Paul, L.**, (2003), *L'Approche systémique : de quoi s'agit-il?*,
- Dubois, S.**, (2008), *Contribution à la formulation des problèmes en conception de systèmes techniques. Etude basée sur la TRIZ*, Laboratoire de Génie de la Conception (LGeco), Institut National des Sciences Appliquées de Strasbourg, Strasbourg, France.
- Durand, D.**,(2006). *La Systémique*, Presses Universitaires de France, Paris.
- eIMPACT**, (2007), *Socio-economic impact assessment of stand-alone and co-operative intelligent vehicle safety systems (IVSS) in Europe*,
- Elvik, R.**, (2000), *How much do road accidents cost the national economy?*, Accident analysis and prevention, Vol.32 (6), pp.849.
- Elvik, R.**, (2003), *How would setting policy priorities according to cost-benefit analyses affect the provision of road safety?*, Accident Analysis & Prevention, Vol.35 (4), pp.557-570.
- Elvik, R. and Amundsen, A.**, (2000), *Improving road safety in Sweden*, Institute of Transport Economics, Oslo.
- Elvik, R. and Vaa, T.**,(2004). *The Handbook of Road Safety Measures*, Elsevier Ltd,
- Ermine, J., Chaillot, M., Bigeon, P., Charrenton, B. and Malavieille, D.**, (1996), *MKSM : Méthode pour la gestion des connaissances*, AFCET, Hermès, Vol.4 (n°4), pp.541-575.
- Evans, L.**,(2004). *Traffic safety*, Science Serving Society, Bloomfield Hills, Michigan.
- Eynard, B., Lemerrier, M. and Matta, N.**, (2001), *Construction d'une mémoire de projet en ingénierie mécanique utilisant les technologies web*, Document numérique, (2001/3), pp.155-171.

- Fell, J. and Voas, R.**, (2006), *The effectiveness of reducing illegal blood alcohol concentration (BAC) limits for driving: evidence for lowering the limit to .05 BAC*, Journal of Safety Research, Vol.37 (3), pp.233-243.
- Ferrandez, F., Brenac, T., Girard, Y., Lechner, D., JOURDAN, J., MICHEL, J. and Nachtergaele, C.**,(1995). *L'étude détaillée d'accidents orientée vers la sécurité primaire*, Presses de l'Ecole nationale des ponts et chaussées, Paris.
- Ferrandez, F., Fleury, D. and Malaterre, G.**, (1986), *L'étude détaillée d'accidents: une nouvelle orientation des recherches en sécurité routière*, Recherche Transports Sécurité, Vol.9-10 pp.17-20.
- Fontaine, H., Gourlet, Y., L'Hoste, J. and Muhlrad, N.**, (2003), *Inventaire critique des données nécessaires à la recherche en sécurité routière*, INRETS,
- Forest, J., Micaëlli, J. and Perrin, J.**, (1997), *Innovation et conception: pourquoi une approche en terme de processus?*, Deuxième congrès International Franco-Québécois de Génie Industriel, Albi, France.
- Fosser, S.**, (1992), *An experimental evaluation of the effects of periodic motor vehicle inspection on accident rates*, Accident Analysis & Prevention, Vol.24 (6), pp.599-612.
- Freeman, R. and McVea, J.**, (2001), *A stakeholder approach to strategic management*, The Blackwell handbook of strategic management, pp.189–207.
- Frey, D. and Dym, C.**, (2006), *Validation of design methods: lessons from medicine*, Research in Engineering Design, Vol.17 (1), pp.45-57.
- Friedman, M.**, (1970), *The social responsibility of business is to increase its profits*, Corporate Ethics and Corporate Governance, pp.173-178.
- Génelot, D.**,(2001). *Manager dans la complexité-Réflexions à l'usage des dirigeants*, Insep Editions, Paris.
- Germain, C. and Trébucq, S.**, (2004), *La performance globale de l'entreprise et son pilotage: quelques réflexions*, Semaine sociale Lamy, Vol.1186 pp.35-41.
- Gorti, S., Gupta, A., Kim, G., Sriram, R. and Wong, A.**, (1998), *An object-oriented representation for product and design processes*, Computer Aided Design, Vol.30 (7), pp.489-502.
- Guba, E. and Lincoln, Y.**,(1989). *Fourth generation evaluation*, Sage Publications, Newbury Park, California.
- Guba, E. and Lincoln, Y.**, (2001), *Guidelines and checklist for constructivist (aka fourth generation) evaluation*, The Evaluation Center, Evaluation Checklists. www.wmich.edu/,
- Guria, J.**, (1999), *An economic evaluation of incremental resources to road safety programmes in New Zealand*, Accident Analysis & Prevention, Vol.31 (1), pp.91-99.
- Haddon Jr, W.**, (1972), *A logical framework for categorizing highway safety phenomena and activity*, The Journal of Trauma, Vol.12 (3), pp.193.
- Hatchuel, A., Le Masson, P. and Weil, B.**, (2004), *CK theory in practice: Lessons from industrial applications*, International Design Conference - Design 2004, Dubrovnik.
- Hatchuel, A. and Weil, B.**, (2002), *La théorie C-K : Fondements et usages d'une théorie unifiée de la conception*, Sciences de la Conception, Lyon, France.
- Hatchuel, A. and Weil, B.**, (2003), *A new approach of innovative design: an introduction to CK theory*, International Conference on Engineering Design, ICED 03, Stockholm, Sweden.
- Heylighen, F.**, (1993), *Selection criteria for the evolution of knowledge*, Proc. 13th Int. Congress on Cybernetics,
- Heylighen, F.**, (2002), *The science of self-organization and adaptivity*, Knowledge Management, Organizational Intelligence and Learning, and Complexity, in: The Encyclopedia of Life Support Systems, EOLSS, pp.1–26.
- Hirst, W., Mountain, L. and Maher, M.**, (2004), *Sources of error in road safety scheme evaluation: a method to deal with outdated accident prediction models*, Accident Analysis & Prevention, Vol.36 (5), pp.717-727.

- Hirst, W., Mountain, L. and Maher, M.**, (2004), *Sources of error in road safety scheme evaluation: a quantified comparison of current methods*, Accident Analysis & Prevention, Vol.36 (5), pp.705-715.
- Holland, C. and Conner, M.**, (1996), *Exceeding the speed limit: an evaluation of the effectiveness of a police intervention.*, Accident; analysis and prevention, Vol.28 (5), pp.587.
- Hollnagel, E.**,(2004). *Barriers and accident prevention*, Ashgate Pub Ltd,
- Houser, A., Murray, D., Shackelford, S., Kreeb, R. and Dunn, T.**, (2009), *Analysis of Benefits and Costs of Lane Departure Warning Systems for the Trucking Industry*, American Transportation Research Institute,
- Jacobs, G., Thomas, A. and Astrop, A.**, (2000), *Estimating global road fatalities*, Transport Research Laboratory, Crowthorne.
- Kahane, C.**, (2004), *Preliminary evaluation of the effectiveness of antilock brake systems for passenger cars*, US Department of Transportation, National Highway Traffic Safety, Washington DC.
- Karabatsou, V., Pappas, M., Van Elslande, P., Fouquet, K., Stanzel, M., Fildes, B. and De Lange, R.**, (2007), *A-priori evaluation of safety functions effectiveness - Methodologies*,
- Kassaagi, M., Moessinger, M., Clément, V. and Jiwon, L.**, (2004), *Behavior adaptation to car improvement*, Birth, Vol.1998 (8),
- Kopits, E. and Cropper, M.**, (2005), *Traffic fatalities and economic growth*, Accident Analysis & Prevention, Vol.37 (1), pp.169-178.
- Koppel, S., Charlton, J., Fildes, B. and Fitzharris, M.**, (2008), *How important is vehicle safety in the new vehicle purchase process?*, Accident Analysis & Prevention, Vol.40 (3), pp.994-1004.
- Kremer-Marietti, A.**,(2006). *Le positivisme d'Auguste Comte*, L'Harmattan, Paris.
- Kuehn, M., Hummel, T. and Bende, J.**, (2009), *Benefit Estimation Of Advanced Driver Assistance Systems For Cars Derived From Real-Life Accidents*, Proceedings of the International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, ESV 2009, Stuttgart, Germany.
- Lauriol, J.**, (2004), *Le développement durable à la recherche d'un corps de doctrine*, Revue française de gestion, (5), pp.137-150.
- Lawson, B., Bassanino, M., Phiri, M. and Worthington, J.**, (2003), *Intentions, practices and aspirations: Understanding learning in design*, Design Studies, Vol.24 (4), pp.327-339.
- Le Coz, J.-Y. and Page, Y.**, (2003), *La démarche accidentologique au service de l'évolution de la sécurité des véhicules*, Revue de la gendarmerie Nationale, Vol.207
- Le Masson, P., Weil, B. and Hatchuel, A.**,(2006). *Les processus d'innovation: conception innovante et croissance des entreprises*, Hermès, Paris.
- Le Moigne, J.**, (1987), *Qu'est-ce qu'un modèle?*, Confrontations psychiatriques,
- Le Moigne, J.**,(1999). *La modélisation des systèmes complexes*, Dunod, Paris.
- Le Moigne, J.**,(1999). *Les épistémologies constructivistes*, Presses universitaires de France, Paris.
- Le Moigne, J.**, (2004), *MODELISER pour COMPRENDRE, c'est à dire pour FAIRE INGENIEUSEMENT*,
- Lehoux, P., Levy, R. and Rodrigue, J.**, (1995), *Conjuguer la modélisation systémique et l'évaluation de 4ième génération*, Ruptures, Vol.2 (1), pp.56-72.
- Lie, A., Krafft, M., Kullgren, A. and Tingvall, C.**, (2008), *Intelligent Seat Belt Reminders—Do They Change Driver Seat Belt Use in Europe?*, Traffic Injury Prevention, Vol.9 (5), pp.446-449.
- Lincoln, Y. and Guba, E.**, (2004). *The roots of fourth generation evaluation. Theoretical an methodological origins*, Sage Publications, Thousand Oaks, California.
- Longueville, B.**, (2003), *Capitalisation des processus de décision dans les projets d'innovation: Application à l'automobile*, Genie Industriel, Ecole Centrale Paris,
- Longueville, B., Stal Le Cardinal, J. and Bocquet, J.**, (2003), *Mémoire de projet pour la conception de produits innovants*, Actes du 8ième colloque sur la conception mécanique intégrée AIP-PRIMECA,

- Lossack, I. and Grabowski, H.**, (2000), *The Axiomatic Approach in the Universal Design Theory*, Proceedings of the First International Conference on Axiomatic Design (ICAD 2000), Cambridge, MA,
- Martin, P.**, (1994), *La méthodologie d'acquisition des connaissances KADS et les explications*, INRIA - Institut National de Recherche en Informatique et en Automatique,
- Matta, N., Eynard, B., Roucoules, L. and Lemerrier, M.**, (2002), *Continuous capitalization of design knowledge*, Proceedings of ECAI,
- Matta, N., Ribiere, M. and Corby, O.**, (1999), *Définition d'un modèle de mémoire de projet*, RAPPORT DE RECHERCHE-INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE EN INFORMATIQUE ET EN AUTOMATIQUE,
- Matta, N., Ribière, M., Corby, O., Lewkowicz, M. and Zacklad, M.**, (2000), *Project memory in design*, Industrial Knowledge Management-A Micro Level Approach, Rajkumar Roy (Eds), Springer-Verlag,
- Maycock, G.**, (1986), *Accident modelling and economic evaluation*, Accident Analysis & Prevention, Vol.18 (2), pp.169-174.
- Mehta, C., Patil, L. and Dutta, D.**, (2010), *An approach to compute similarity between engineering changes*, IEEE Conference on Automation Science and Engineering (CASE),
- Micaëlli, J. and Fougères, A.**,(2007). *L'évaluation créative*, Université de technologie de Belfort-Montbéliard,
- Morin, E.**,(2005). *Introduction à la pensée complexe*,
- Newell, A.**, (1981), *The Knowledge Level*, AI magazine, Vol.2 (2), pp.1.
- Newton, J.**, (2008), *Road safety–Partnership program. Shared responsibility*, Office of Road Safety, Western Australia.
- Nioche, J.**, (1982), *De l'évaluation à l'analyse des politiques publiques*, Revue française de science politique, Vol.32 (1), pp.32-61.
- Nonaka, I., Toyama, R. and Konno, N.**, (2000), *SECI, Ba and leadership: a unified model of dynamic knowledge creation*, Long range planning, Vol.33 (1), pp.5-34.
- OMS**, (2009), *Rapport de situation sur la sécurité routière dans le monde : il est temps d'agir*, Organisation mondiale de la santé, Genève.
- ONISR**, (2010), *Bilan de l'année 2009*, Observatoire National Interministériel de Sécurité Routière,
- Page, Y.**, (1994), *La mise en oeuvre du " 50 en ville" et ses effets sur la securite routiere*, Les cahiers de l'Observatoire, Vol.1 pp.43-66.
- Page, Y.**, (1998), *Note sur l'utilisation de l'odds-ratio comme mesure du risque relatif. Application au risque relatif d'accident des véhicules neufs.*, CEESAR,
- Page, Y. and Cuny, S.**, (2006), *Is electronic stability program effective on French roads?*, Accident Analysis and Prevention, Vol.38 (2), pp.357-364.
- Page, Y., Rivière, C., Cuny, S. and Zangmeister, T.**, (2007), *A posteriori evaluation of Safety Functions effectiveness - Methodologies*,
- Pahl, G., Beitz, W. and Wallace, K.**,(1996). *Engineering design: a systematic approach*, Springer Verlag,
- Peden, M., Hyder, A., Scurfield, R., Mohan, D., Jarawen, E., Sleet, D. and Mathers, C.**,(2004). *Rapport mondial sur la prévention des traumatismes dus aux accidents de la circulation*, Organisation mondiale de la santé, Genève.
- Peden, M., Hyder, A., Scurfield, R., Mohan, D., Jarawen, E., Sleet, D. and Mathers, C.**,(2004). *World report on road traffic injury prevention*, World Health Organization Geneva,
- Perrin, J.**,(2001). *Concevoir l'innovation industrielle: méthodologie de conception de l'innovation*, CNRS Eds,

- Perron, T. and Bocquet, J.**, (1997), *Méthodologie d'analyse de sécurité primaire automobile pour la spécification fonctionnelle et l'évaluation prévisionnelle d'efficacité de systèmes d'évitement d'accidents*, Laboratoire Génie Industriel, Ecole Centrale Paris, Châtenay Malabry.
- Regli, W., Hu, X., Atwood, M. and Sun, W.**, (2000), *A survey of design rationale systems: Approaches, representation, capture and retrieval*, Engineering with Computers, Vol.16 (3), pp.209-235.
- Reich, Y.**, (1995), *Measuring the value of knowledge*, International Journal of Human Computer Studies, Vol.42 (1), pp.3-30.
- Retting, R., Farmer, C. and McCartt, A.**, (2008), *Evaluation of automated speed enforcement in Montgomery County, Maryland*, Traffic Injury Prevention, Vol.9 (5), pp.440-445.
- Rienstra, S., Rietveld, P. and Lindeijer, J.**, (2000), *Economic evaluation of traffic safety measures for transport companies.*, Accident; analysis and prevention, Vol.32 (5), pp.679.
- Rivière, C.**, (2001), *La reconstruction des accidents de la circulation*, Université de la Réunion,
- Rozenburg, N. and Cross, N.**, (1991), *Models of the design process: integrating across the disciplines*, Design Studies, Vol.12 (4), pp.215-220.
- Roques, P.**,(2006). *UML 2 par la pratique: études de cas et exercices corrigés*, Eyrolles,
- Salem, A.**, (2006), *Proximités segmentales*, Actes des JADT'06, pp.843-853.
- Santini, S. and Jain, R.**, (2002), *Similarity measures*, Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on, Vol.21 (9), pp.871-883.
- Schindler, A.**, (2009), *Vers la multi-performance des organisations: conception et pilotage par les valeurs du centre de recherche intégré MIRGen du CEA*, Laboratoire de Génie Industriel, Ecole Centrale Paris, Châtenay Malabry.
- Simon, H.**, (1992), *De la rationalité substantive à la rationalité procédurale*, Revue PISTES, Vol.3
- Suh, N.**,(1990). *The principles of design*, Oxford University Press, USA,
- Suh, N. P.**,(2001). *Axiomatic design: advances and applications*, Oxford University Press New York,
- Svensson, M. and Vredin Johansson, M.**, (2010), *Willingness to pay for private and public road safety in stated preference studies: Why the difference?*, Accident Analysis & Prevention, Vol.In Press, Corrected Proof
- Teulier, R., Charlet, J. and Tchounikine, P.**, (2005). *L'ingénierie des connaissances : acquis et nouvelles perspectives*, pp.pp. 11-26,
- Thoenig, J.**, (2005). *L'évaluation: un cycle de vie à la française*, pp.117-127, Dunod, Paris.
- THORAX**, (2009), *Thoracic injury assessment for improved vehicle safety*,
- Tingvall, C. and Haworth, N.**, (2000), *Vision Zero: an ethical approach to safety and mobility*, 6th ITE International Conference Road Safety & Traffic Enforcement: Beyond, Melbourne.
- Trawen, A., Maraste, P. and Persson, U.**, (2002), *International comparison of costs of a fatal casualty of road accidents in 1990 and 1999*, Accident analysis and prevention, Vol.34 (3), pp.323-332.
- Trichet, F., Leclère, M. and Choquet, C.**, (2000), *Construire un système à Base de connaissances de type Tâche/Méthode à l'aide des Graphes Conceptuels*, Actes des Journées Francophones d'Ingénierie des Connaissances (IC'2000), pp.13-21.
- Van Beeck, E., Borsboom, G. and Mackenbach, J.**, (2000), *Economic development and traffic accident mortality in the industrialized world, 1962-1990*, International journal of epidemiology, Vol.29 (3), pp.503.
- Van Elslande, P., Alberton, L., Nachtergaële, C. and Blanchet, G.**, (1997), *Scénarios-types de production de l'erreur humaine dans l'accident de la route. Problématique et analyse qualitative*, Rapport inrets, Vol.n°218
- Vogel, C.**, (1991), *Expression langagière de l'expertise: problèmes d'analyse*, Intellectica, Vol.12 pp.65-100.

Wallén Warner, H., Ljung Aust, M., Sandin, J., Johansson, E. and Björklund, G., (2008), *Manuel for DREAM 3.0*,

Wielinga, B., Schreiber, A. and Breuker, J., (1992), *KADS: A modelling approach to knowledge engineering*, Knowledge acquisition, Vol.4 (1), pp.5-53.

Wiener, N.,(1965). *Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine*, The MIT Press,

Wilde, G., (1982), *The theory of risk homeostasis: implications for safety and health*, Risk analysis, Vol.2 (4), pp.209-225.

Wilde, G., (1986), *Beyond the concept of risk homeostatis: suggestions for research and application towards the prevention of accidents and lifestyle-related disease*, Accident Analysis & Prevention, Vol.18 (5), pp.377-401.

Yang, K. and Zhang, H., (2000), *A comparison of TRIZ and Axiomatic Design*, International Conference on Axiomatic Design, Cambridge, MA.

Annexe

A.1 - Cahier des charges de l'application informatique⁷³

1. Présentation générale

1.1 - Le contexte et les objectifs

Dans le cadre de notre travail de recherche mené au LAB sur l'évaluation des stratégies de sécurité routière, nous proposons un cadre général dont l'objectif est de guider les évaluateurs dans la réalisation de leur activité. Il permet de les guider à la fois dans les tâches de modélisation des cas d'évaluation et dans les tâches de construction des indicateurs d'évaluation.

Nous proposons dans ce document le cahier des charges de l'application informatique qui est la formalisation opérationnelle de notre proposition.

La modélisation du cas d'étude s'effectue par le renseignement des concepts nécessaires à la réalisation des évaluations. Il s'agit à la fois de formaliser les connaissances issues des commanditaires de l'évaluation et celles construites par l'évaluateur.

La construction des indicateurs est basée sur une approche de réutilisation et/ou sur une approche de conception. Dans les deux cas, l'évaluateur utilise les connaissances sur le cas d'évaluation ainsi que sur ceux qui ont déjà traités.

Cet outil informatique a également comme objectif de capitaliser les évaluations réalisées. Il permet la mémorisation des connaissances telles que celles sur les résultats, les cas d'évaluation, et les hypothèses. Grâce à cette mémoire de projet, l'évaluateur a la possibilité de réutiliser les connaissances existantes pour la réalisation des évaluations.

1.2 - Les utilisateurs concernés

L'outil informatique spécifié dans ce document est destiné aux évaluateurs. C'est eux qui ont en charge la conception et la réalisation des évaluations. Afin de réaliser leur activité, ils utilisent à la fois des compétences institutionnelles, leurs expériences, leurs capacités créatives, des théories et des outils. Nous considérons par exemple que les évaluateurs ont des compétences de terrain (recueil de données et modélisation d'accident) et des compétences de recherche (réalisation d'études).

⁷³ Ce CDC est un document de travail qui a été utilisé pour la réalisation de l'application web (travail réalisé par Idy Camara). C'est, en partie, une synthèse des connaissances déjà présentées dans le mémoire. Seuls les diagrammes de séquences ont été ajoutés.

Nous avons observés que les évaluateurs ont tendance à réaliser les évaluations par habitude. Les évaluations sont donc souvent similaires en termes de méthodologie et de structuration des résultats (indicateurs similaires). Face à cette problématique nous proposons un cadrage général de l'évaluation et un outil informatique afin de les aider à dépasser leurs habitudes.

1.3 - Le périmètre de déploiement

D'un point de vue ressource humaine, l'outil informatique à développer concerne pour le moment uniquement les évaluateurs du LAB (environ une dizaine de personnes). D'un point de vue ressource matérielle, aucune infrastructure informatique n'a pour le moment été identifiée. Nous pensons cependant qu'une application Web disponible pour l'ensemble des évaluateurs depuis leur poste de travail est une bonne solution (aucune étude de faisabilité sur ce type de solution n'a encore été effectuée).

2. Description générale des besoins

Nous utilisons la Figure A.1 pour détailler l'activité d'évaluation. Elle est constituée de 5 phases en interactions qui abordent les tâches à réaliser. Nous focalisons notre travail de recherche sur les deux premières phases. Nous proposons de cadrer la phase de spécification des besoins d'évaluation (a) et la phase de conception des indicateurs (une partie de la phase b).

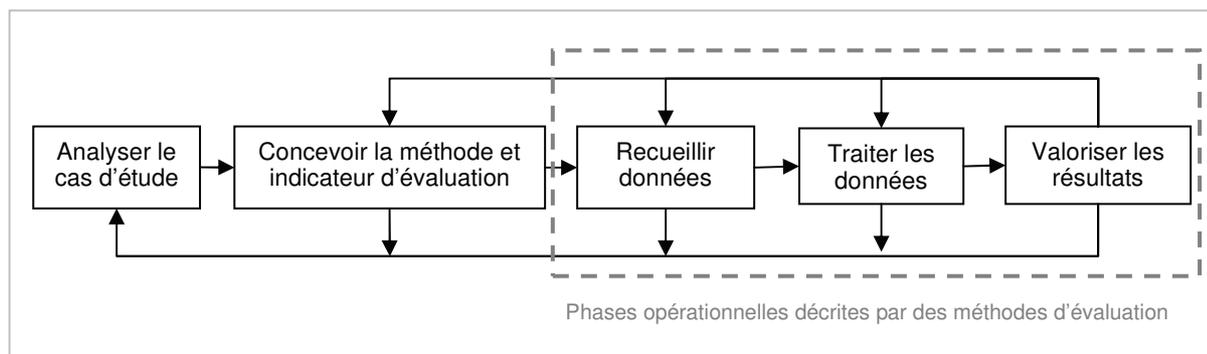


Figure A.1 - Modèle général de l'activité d'évaluation

Dans la phase **d'analyse du cas d'évaluation**, nous avons comme objectif la modélisation des attentes des parties prenantes et des stratégies de sécurité à évaluer. La compréhension du cas d'évaluation guide la conception et la réalisation de l'évaluation dans l'objectif de fournir des résultats pertinents aux parties prenantes. Cette première phase de l'activité d'évaluation porte en grande partie sur la modélisation des parties prenantes, de leurs attentes, de la stratégie de sécurité à évaluer, et du contexte d'évaluation.

La seconde phase porte sur la **conception des indicateurs et des méthodes d'évaluation** (seul la conception des indicateurs est abordée en détails). Les indicateurs sont les médias de transmission des résultats des évaluations. Leur construction est donc une étape sensible et déterminante pour les phases suivantes. Nous la décrivons suivant trois approches différentes mais complémentaires : une de réutilisation et deux de conception. La réutilisation consiste à identifier des cas similaires déjà traités pour lesquels les indicateurs sont réutilisables. La conception des

indicateurs est une activité créative nécessitant des comportements particuliers de la part des évaluateurs. Ils doivent être en mesure de proposer des solutions nouvelles qui répondent au cas d'étude. Le besoin de nouveauté s'explique par le fait que la plupart des évaluations sont nouvelles de part l'évolution permanente du contexte et des attentes des parties prenantes.

3. Cahier des charges

Nous commençons par présenter les fonctions principales pour chaque phase (plus la mémorisation) de l'activité d'évaluation que nous considérons dans notre travail de recherche :

- **Analyser le cas d'étude :**
 - Recueillir les attentes du ou des parties prenantes qui ont des questions d'évaluation,
 - Formaliser les questions sous forme de problèmes d'évaluation,
 - Modéliser les stratégies de sécurité à évaluer en considérant leur contexte de fonctionnement,
 - Utiliser des taxonomies pour la modélisation. L'objectif est de pouvoir d'utiliser des items génériques pour construire certains modèles (exemple des types de problèmes d'évaluation – voir section 3.3). Celles-ci doivent former des listes dynamiques - possibilité d'en ajouter de nouvelles en fonction des besoins de modélisation,
 - Identifier et utiliser les modèles déjà existants (pour les attentes d'évaluation et les stratégies de sécurité). Il faut pouvoir se raccrocher à des cas d'évaluation déjà traités afin de gagner du temps dans l'analyse et d'éviter de refaire certaines erreurs.

- **Concevoir les indicateurs d'évaluation :**
 - Identifier des cas d'évaluation similaires pour lesquels il est possible de réutiliser les indicateurs,
 - Générer des indicateurs en fonction des besoins des parties prenantes. Cette fonction implique un lien étroit entre la phase de construction des indicateurs et les connaissances sur le cas d'étude à traiter (ce point est détaillé par la suite),
 - Etendre le domaine des connaissances sur le cas d'évaluation ainsi que sur le système routier. Dans la phase de conception, il est parfois nécessaire de revenir sur la phase d'analyse afin de formaliser de nouvelles connaissances ; l'outil logiciel doit permettre ce processus de feed-back,
 - Identifier des pistes de recherche qui traduisent des questionnements ou des manques sur les outils opérationnels, les connaissances, les données, etc. Lorsqu'un indicateur pertinent par rapport aux besoins des parties prenantes n'est pas calculable, il est nécessaire de pouvoir capitaliser sur les limites opérationnelles afin de participer à l'amélioration des évaluations.

- **Mémoriser les évaluations** - Nous décrivons ce cas d'utilisation car sa prise en compte est nécessaire dans la réalisation des deux premières phases (a et b). Il n'est cependant pas détaillé dans la suite du cahier des charges :
 - Stocker les informations décrivant le cas d'évaluation,
 - Stocker les indicateurs construits ainsi que les informations utilisées pour leur construction,
 - Stocker les méthodes et les outils opérationnels,
 - Accéder aux informations stockées.

En conclusion de cette description générale des fonctions principales, nous présentons dans la Figure A.2 le diagramme de cas d'utilisation de l'ensemble des phases de l'activité d'évaluation (nous avons détaillé seulement celles qui sont spécifiques à notre travail de recherche). Il détaille les phases du modèle général de l'activité d'évaluation. L'objectif est de proposer une solution logiciel qui soit adaptée à la réalisation de la première phase et d'une partie de la deuxième (conception des indicateurs). Ce diagramme de cas d'utilisation est associé au diagramme de classes (voir Figure A.3). Ce dernier décrit l'ensemble des concepts pertinents pour la réalisation des évaluations

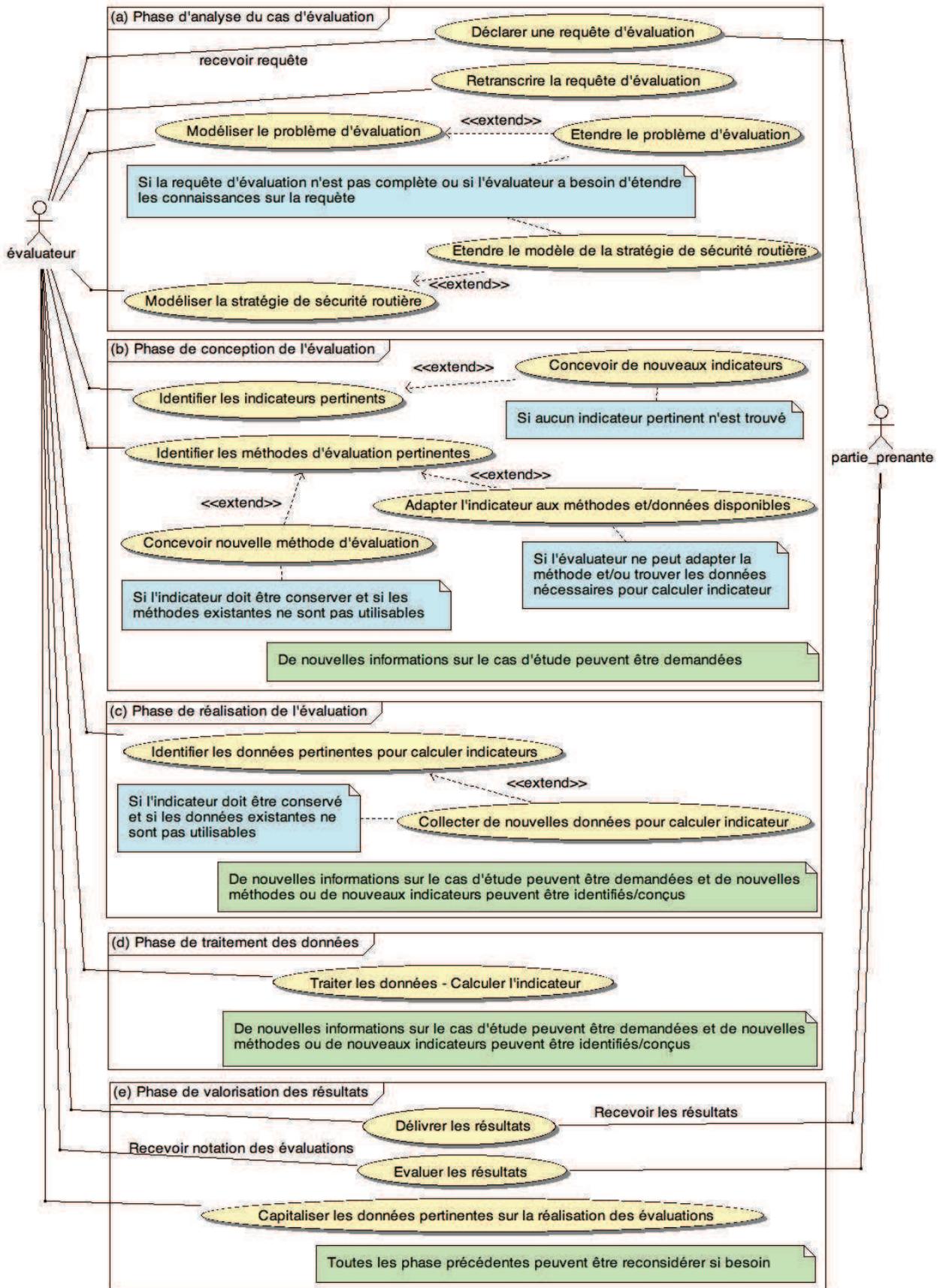


Figure A.2 - Diagramme de cas d'utilisation de l'activité d'évaluation

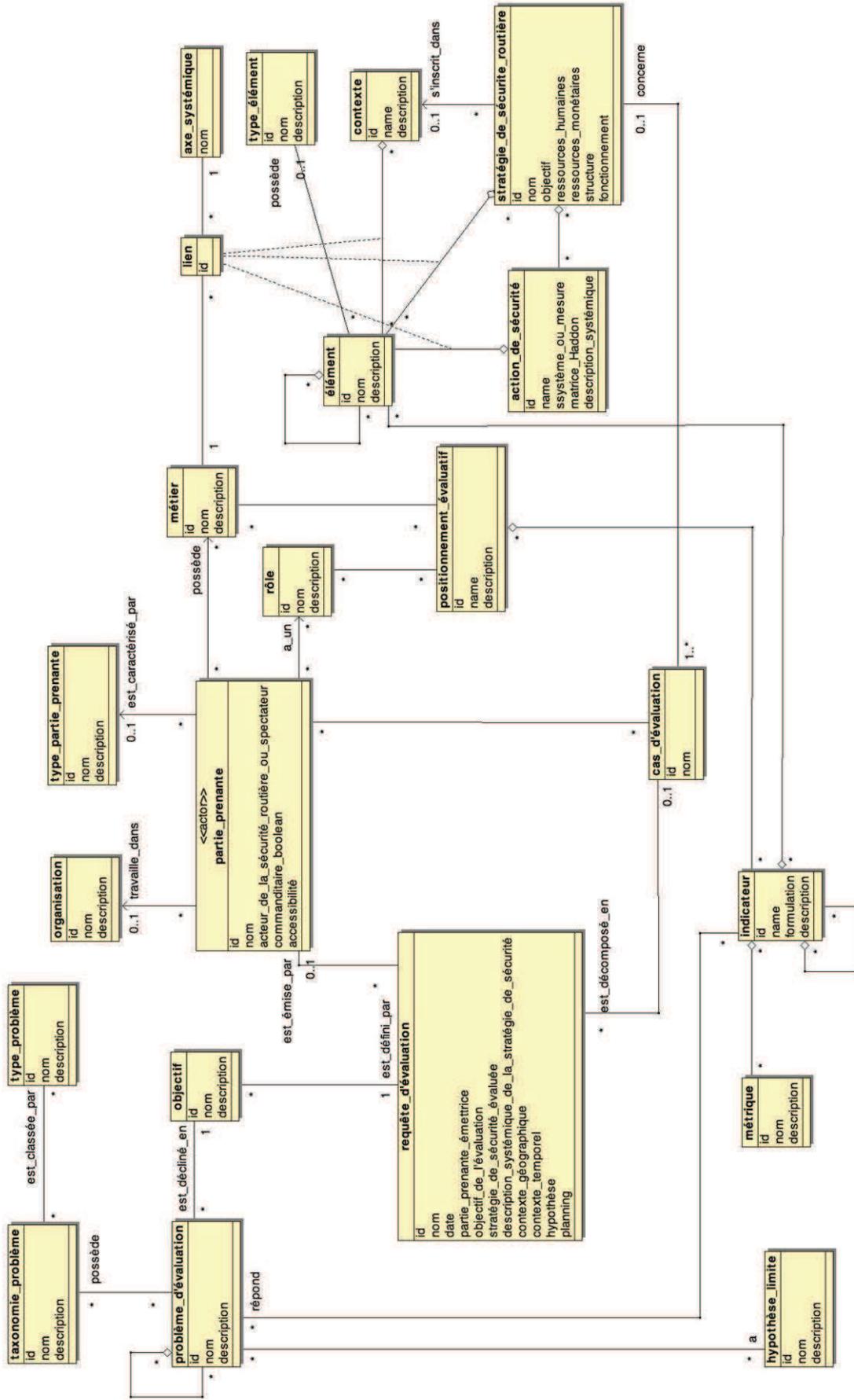


Figure A.3 - Diagramme de classes pour l'activité d'évaluation

3.1 - Déclaration de la requête d'évaluation

Une étude d'évaluation commence par la formulation d'une requête d'évaluation. Elle est émise par un ou plusieurs commanditaires et est polymorphe. En effet, une requête peut être par exemple spécifiée par une simple déclaration (niveau de formalisation le plus faible) ou par un cahier des charges précis regroupant la totalité des informations pour la réalisation d'une évaluation (niveau de formalisation le plus élevé).

Afin de formaliser et de simplifier cette première étape primordiale de la réalisation de l'activité d'évaluation, nous proposons d'utiliser un formulaire. Son objectif est d'identifier, grâce à des items, l'ensemble des informations qui spécifient un cas d'évaluation. L'utilisation d'un formulaire permet à l'évaluateur de cadrer son interaction avec le commanditaire (s'il est accessible) et de guider sa première retranscription de la requête d'évaluation. Le résultat peut prendre deux formes : il peut s'agir d'un formulaire complètement détaillé ou au contraire d'un formulaire partiellement rempli.

La figure A.4 présente le diagramme UML présentant les classes « requête » et « partie prenante ». La classe « requête_d'évaluation » est caractérisée par les attributs qui sont utilisés dans le formulaire de spécification de la requête. Ce dernier a pour objectif de recueillir des informations portant sur le commanditaire (qui, rôle, activité, attentes, objectifs, etc.), le contexte (pays, population, véhicule, infrastructure) et la mesure de sécurité (définition, fonctionnement, évolution et finalité de la mesure).

La liste suivante détaille l'ensemble des attributs de la classe « **requête** » :

- **Id**: Identifiant de la requête, il est généré de façon automatique,
- **nom** : nom de la requête,
- **date** : date à laquelle la requête est formulée,
- **partie_prenante_émettrice** : donner le nom de la partie prenante qui formule la requête d'évaluation,
- **objectif_de_l'évaluation** : décrire l'objectif de l'évaluation en termes de résultats et d'utilisation de ces résultats,
- **stratégie_de_sécurité_à_évaluer** : il s'agit de définir quelle est l'action de sécurité à évaluer. A ce niveau, la description est très large ; il peut s'agir d'une politique de sécurité, d'un système ou d'un ensemble de systèmes, etc.
- **description_systémique_de_la_stratégie_de_sécurité** : l'objectif est de décrire la stratégie de sécurité en s'intéressant à quatre aspects complémentaires : les composants qui la constituent, les modèles qui caractérisent son fonctionnement, ses modes d'évolutions (implémentation, utilisation, future réglementation, etc.) et enfin sur ses finalités (ce qu'elle doit être en mesure d'accomplir).
- **contexte_géographique** : définir la population cible de cette requête. il s'agit de définir les populations (géographie, classes de populations, acteurs) qui sont impactées par l'action de sécurité,

- **contexte_temporel** : définir le contexte temporel de la requête. On cherche à spécifier les limites temporelles de la requête,
- **hypothèse** : définir les hypothèses qui sont liées à cette requête d'évaluation. Il peut s'agir d'hypothèses de travail, de compréhension, de résolution, etc.
- **planning** : décrire le planning souhaité par le commanditaire pour la restitution des résultats.

La liste suivante détaille les attributs de la classe « partie_prenante » :

- **Id** : identifiant de la partie, il est généré de façon automatique.
- **nom** : nom de la partie prenante (soit une personne soit un ensemble de personnes)
- **acteur_de_la_sécurité_ou_spectateur** : spécifier si la partie prenante est acteur dans la sécurité (les constructeurs automobiles, les pouvoirs publics, etc.) ou spectateur au sens de la passivité (principalement les usagers de la route).
- **Commanditaire** : dire si la partie prenante considérée est commanditaire ou pas.
- **Accessibilité** : dire si la partie prenante est accessible pendant la réalisation de l'évaluation.

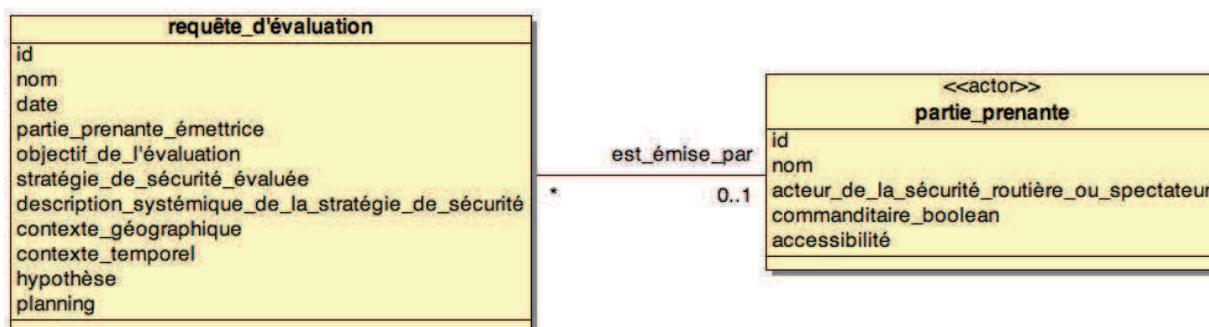


Figure A.4 - Diagramme de classes de la requête d'évaluation en interaction avec la partie prenante

La Figure A.5 et la Figure A.6 présentent respectivement les diagrammes d'activités et de séquences qui décrivent les comportements fonctionnels entre le(s) commanditaire(s), le(s) évaluateur(s) et l'application informatique.

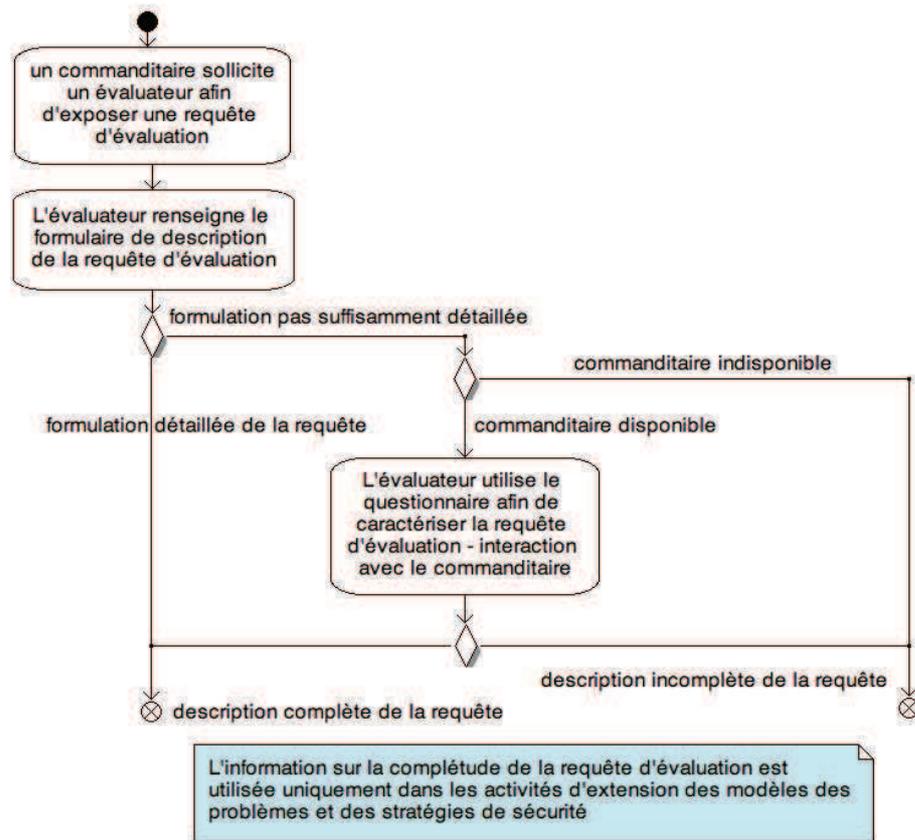


Figure A.5. - Diagramme d'activités du cas d'utilisation de déclaration de la requête d'évaluation

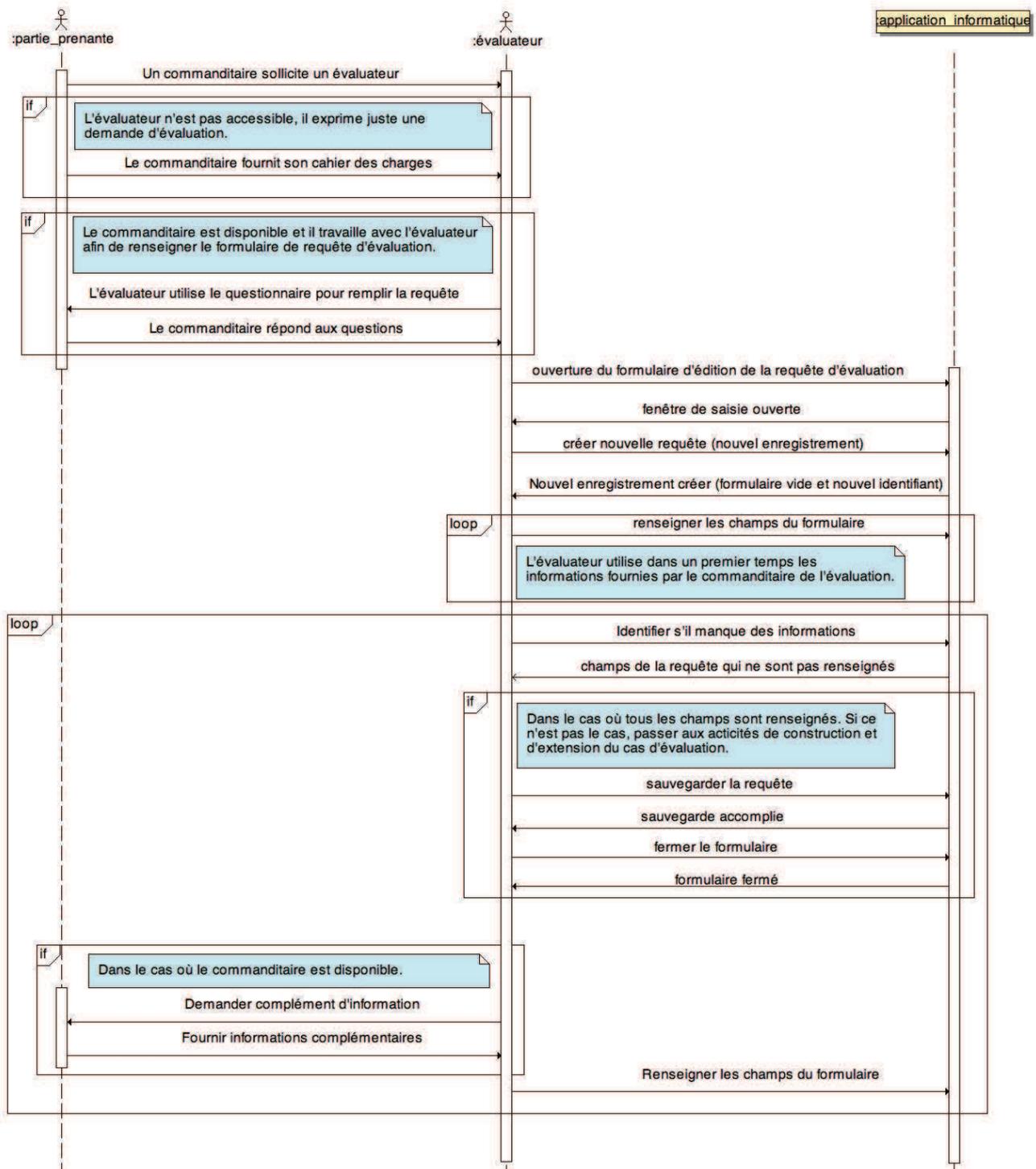


Figure A.6 - Diagramme de séquence de l'activité de formulation de la requête d'évaluation

3.2 - Retranscription de la requête d'évaluation

Après la formalisation de la requête d'évaluation, l'évaluateur a en charge sa déclaration et sa retranscription en un cas d'évaluation. L'objectif est de construire une représentation du cas d'évaluation à traiter.

La construction du cas d'évaluation aborde à la fois la description des attentes des parties prenantes et la modélisation des stratégies de sécurité à évaluer. Les attentes des parties prenantes sont retranscrites sous forme de problèmes d'évaluation auxquelles nous associons des objectifs. Les

stratégies de sécurité sont modélisées en interaction avec un contexte par l'utilisation d'un cadre systémique de modélisation.

Ce travail de retranscription de la requête permet à la fois de formaliser les cas d'évaluation et de construire une base de connaissances. La base est ensuite utilisée dans le processus de construction des indicateurs d'évaluation.

3.2.1 - Déclaration du cas d'évaluation

La première étape consiste à déclarer le cas d'évaluation. Elle est basée sur le diagramme de classes suivant (voir la Figure A.7).

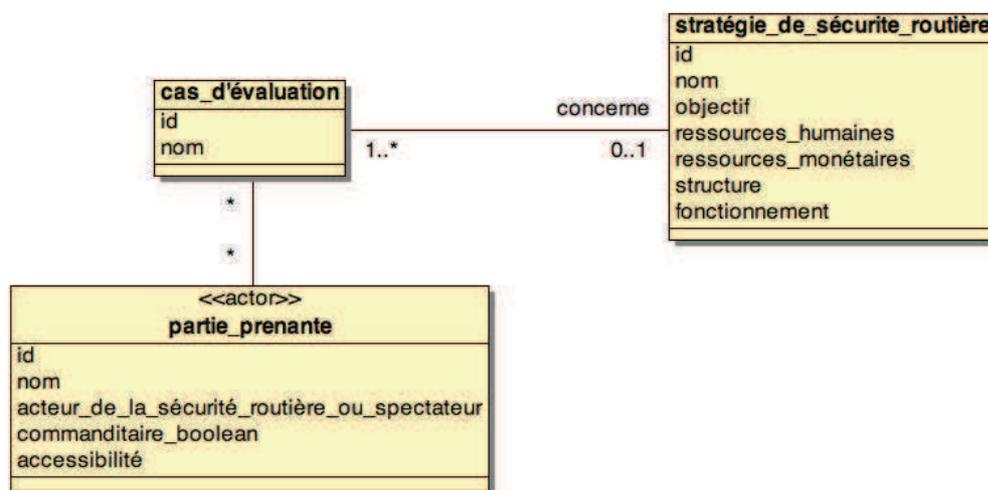


Figure A.7 - Diagramme de classes – Déclaration du cas d'évaluation

Pour chaque concept de la Figure A.7, nous détaillons les attributs :

- **Cas d'évaluation** : classe utilisée pour définir un projet d'évaluation. Elle est définie par les attributs suivants :
 - **Id** : identifiant de l'évaluation. il est généré de façon automatique.
 - **nom** : nom décrivant l'évaluation. Il est formulé par l'évaluateur et il doit décrire le cas d'évaluation.
- **Partie prenante** : personne ou groupe de personnes qui sont liées au cas d'évaluation. Il peut s'agir de commanditaire, de simples parties prenantes de la sécurité routière ou de l'évaluation. Nous les caractérisons par l'utilisation des classes « type_partie_prenante », « organisation », « métier » et « rôle ». Nous utilisons également les attributs suivants :
 - **Id** : identifiant de la partie prenante. Il est généré de façon automatique.
 - **Nom** : nom de la partie prenante.
 - **Acteur_de_la_sécurité_ou_spectateur** : permet de définir si la partie prenante agit pour l'amélioration de la sécurité routière ou pas.
 - **Commanditaire** : attribut utilisé pour définir si la partie prenante est commanditaire. Si elle est commanditaire, elle est à l'origine d'une question d'évaluation.

- **Accessibilité** : attribut qui est utilisé pour dire si une partie prenante est disponible ou pas pendant la réalisation de l'évaluation. Cette information est utilisée lorsque l'on cherche à compléter les informations sur le cas d'évaluation.
- **Positionnement évaluatif** : classe décrivant les points de vue évaluatifs. Ils servent à exprimer les questionnements génériques d'évaluation que l'on associe à des parties prenantes en fonction de leur rôle ou de leur métier. Les positionnements sont décomposés en connaissances et sont caractérisés par les attributs suivants :
 - **Id** : identifiant de la partie prenante. Il est généré de façon automatique.
 - **Nom** : nom du positionnement évaluatif.
 - **Description** : texte synthétique décrivant le positionnement.
- **Stratégie de sécurité** : classe qui décrit les plans d'actions ayant pour objectif d'améliorer la sécurité routière et qui sont évalués. Il peut s'agir d'une seule action de sécurité ou de plusieurs. Nous utilisons les attributs suivants pour la caractériser :
 - **Id** : identifiant de la partie prenante. Il est généré de façon automatique.
 - **Nom** : nom de la stratégie de sécurité.
 - **Objectif** : attribut permettant de décrire les objectifs de la stratégie de sécurité par rapport à la sécurité routière.
 - **Moyen_humain** : spécification des moyens humains mis en œuvre pour la réalisation de la stratégie de sécurité.
 - **Moyen_financier** : spécification des moyens financiers utilisés pour la réalisation de la stratégie de sécurité.
 - **Structure** : description de l'ontologie de la stratégie de sécurité. L'évaluateur décrit de quoi elle est faite.
 - **Fonctionnement** : description du fonctionnement de la stratégie de sécurité.

La Figure A.8 et la Figure A.9 sont respectivement les diagrammes d'activités et de séquences décrivant le travail de l'évaluateur. Le diagramme d'activité détaille sous forme d'activités le cas d'utilisation « retranscription du cas d'évaluation ». Et le diagramme de séquences spécifie les interactions entre l'évaluateur et l'outil informatique afin de réaliser les activités. Afin de mener à bien cette étape, l'évaluateur utilise les informations contenues dans la requête qu'il a formalisée en collaboration (ou pas) avec un commanditaire.

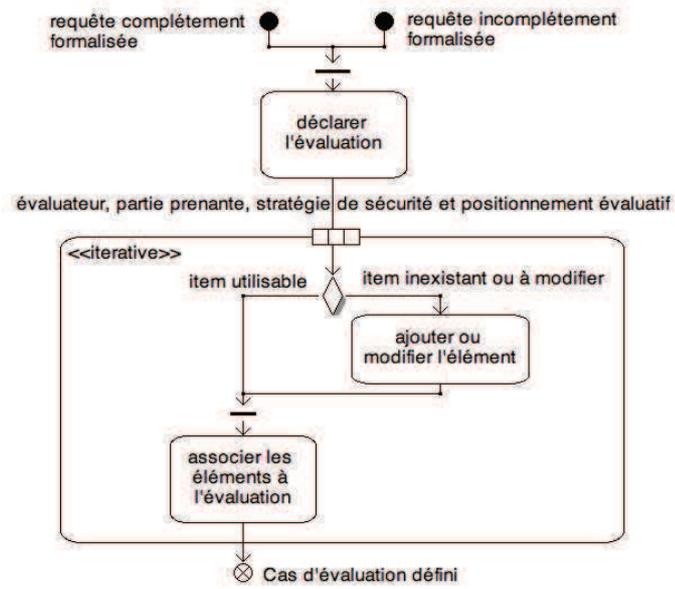


Figure A.8 - Diagramme d'activités de retranscription du cas d'évaluation

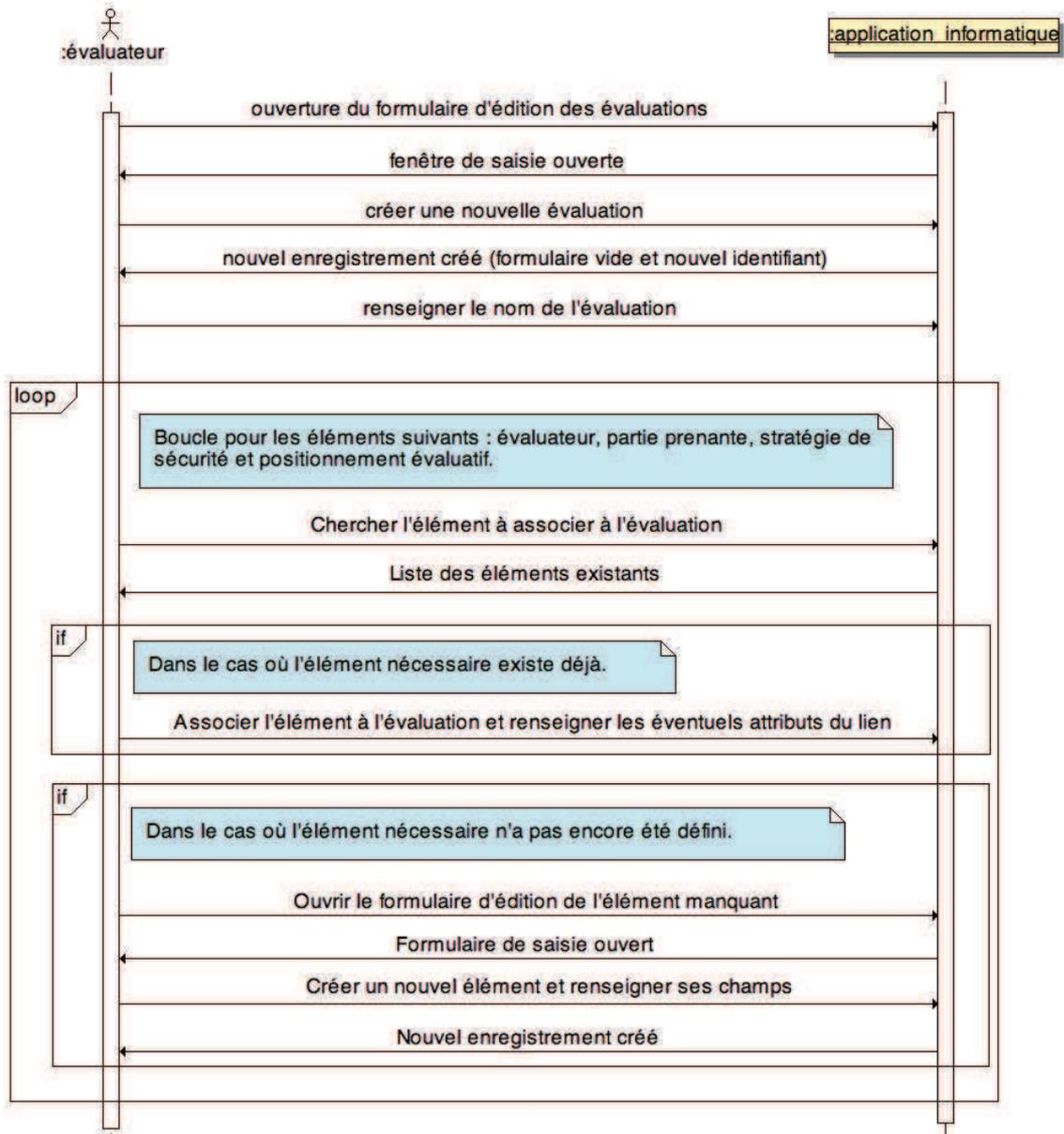


Figure A.9 - Diagramme de séquences de déclaration de l'évaluation

3.2.2 - Modélisation des problèmes d'évaluation

3.2.2.1 - Première étape : déclaration des problèmes d'évaluation

La déclaration des problèmes d'évaluation est la dernière étape de la déclaration du cas d'utilisation. Elle sert également à déclarer les premières informations qui sont utilisées dans la modélisation du problème d'évaluation.

Cette étape a pour objectif de renseigner les concepts qui sont représentés dans la Figure A.10. Ces concepts sont liés à ceux qui ont été présentés dans la section précédente.

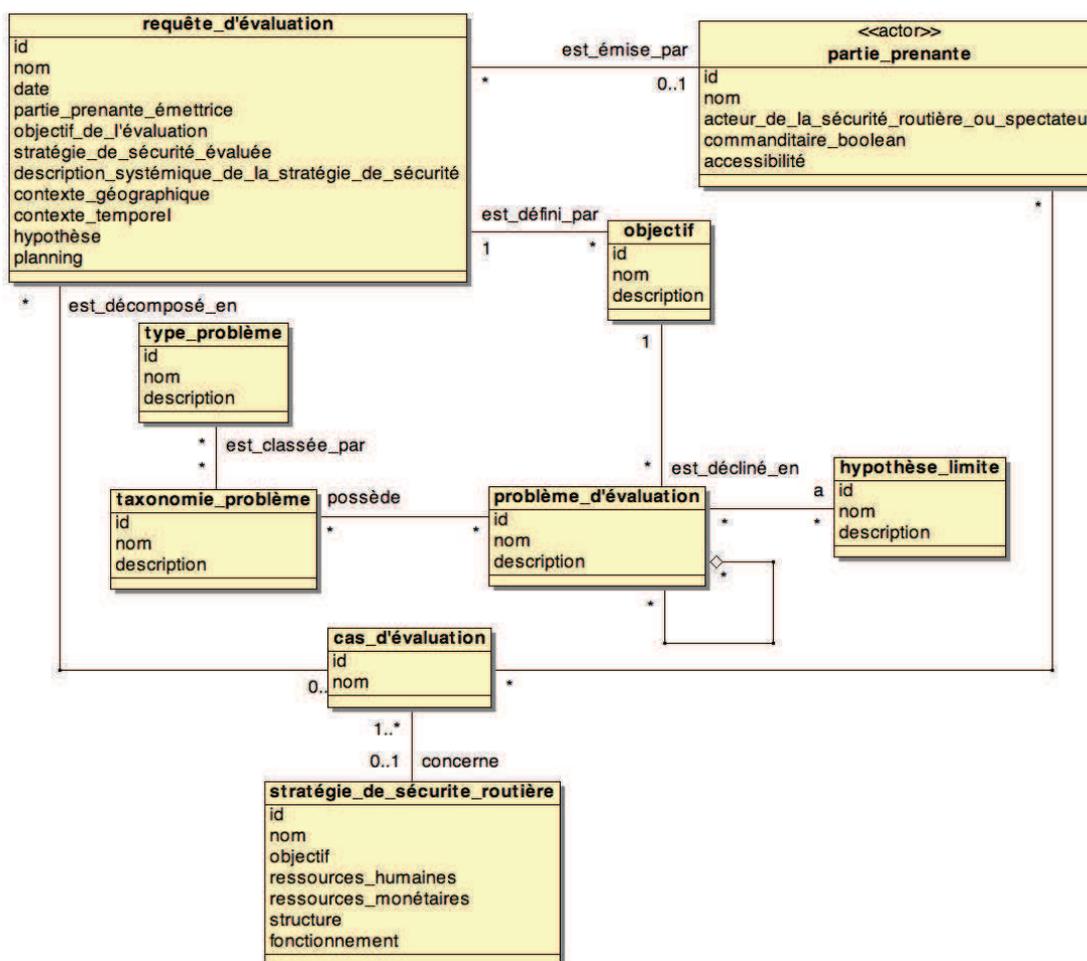


Figure A.10 - Diagramme de classes – Problème d'évaluation

Nous ajoutons quelques concepts à ceux que nous avons présentés dans la section précédente. Nous détaillons chacun de ces nouveaux concepts en présentant leurs attributs.

- **Problème d'évaluation** : c'est une classe récursive qui est utilisée pour décrire la problématique d'évaluation. Elle a un ou des objectif(s) et existe en fonction d'hypothèse(s). Elle est catégorisée en fonction de taxonomie et de type de problème. Enfin, elle est décrite par les attributs suivants :
 - **Id** : identifiant de la partie prenante. Il est généré de façon automatique.
 - **Nom** : nom du problème d'évaluation.
 - **Description** : texte synthétique décrivant le problème.
- **Objectif** : classe qui renseigne l'axe téléologique de l'évaluation. Elle est utilisée afin de caractériser et de construire les problèmes d'évaluation. Elle est décrite par les attributs suivants :
 - **Id** : identifiant de la partie prenante. Il est généré de façon automatique.
 - **Nom** : nom du positionnement évaluatif.
 - **Description** : texte synthétique décrivant le positionnement.

- **Hypothèse** : classe utilisée pour la description des hypothèses du problème d'évaluation. Il s'agit par exemple d'hypothèses fournies par le commanditaire et qui porte sur le contexte d'évaluation. Elle est décrite par les attributs suivants :
 - **Id** : identifiant de la partie prenante. Il est généré de façon automatique.
 - **Nom** : nom de l'hypothèse.
 - **Description** : texte synthétique décrivant l'hypothèse.

- **Taxonomie problème** : classe qui est utilisée pour caractériser les problèmes d'évaluation. il s'agit de problèmes génériques que l'on a identifiés par une analyse des pratiques d'évaluation. Elle est caractérisée par les attributs suivants :
 - **Id** : identifiant de la partie prenante. Il est généré de façon automatique.
 - **Nom** : nom du positionnement évaluatif.
 - **Description** : texte synthétique décrivant le positionnement.

- **Type problème** : classe qui est utilisée pour caractériser les problèmes d'évaluation ainsi que les taxonomies de problèmes. Nous considérons par exemple les types suivants : validation, classement, optimisation, etc. Cette classe est caractérisée par les attributs suivants :
 - **Id** : identifiant de la partie prenante. Il est généré de façon automatique.
 - **Nom** : nom du positionnement évaluatif.
 - **Description** : texte synthétique décrivant le positionnement.

La Figure A.11 et Figure A.12 sont respectivement les diagrammes d'activités et de séquences décrivant la déclaration des problèmes d'évaluation. Le diagramme d'activité détaille sous forme d'activités le cas d'utilisation « retranscription du cas d'évaluation ». Et le diagramme de séquences spécifie les interactions entre l'évaluateur et l'outil informatique afin de réaliser les activités. Afin de mener à bien cette étape, l'évaluateur utilise les informations contenues dans la requête qu'il a formalisée en collaboration (ou pas) avec un commanditaire.

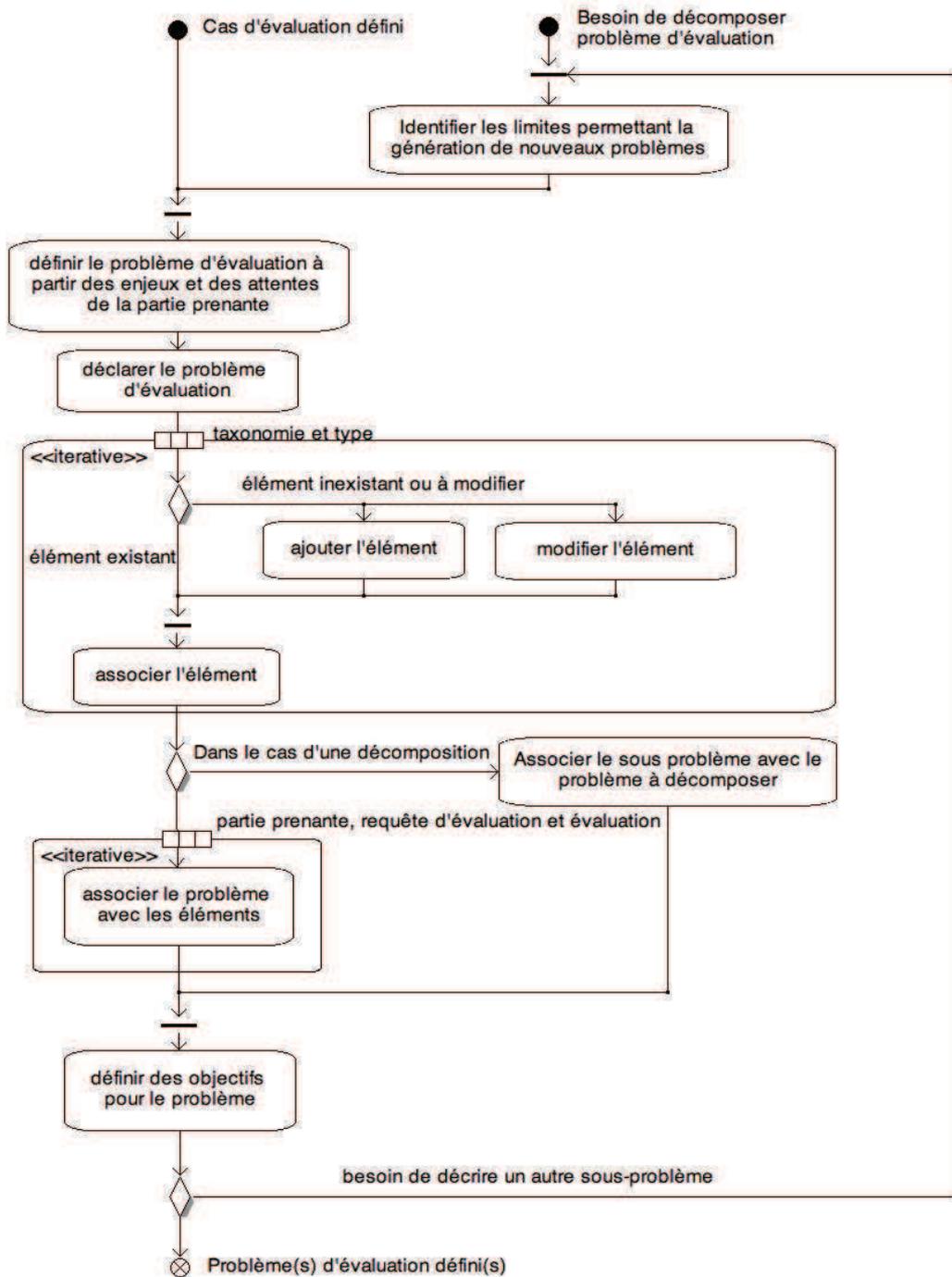


Figure A.11 - Diagramme d'activité du cas d'utilisation retranscription du problème d'évaluation

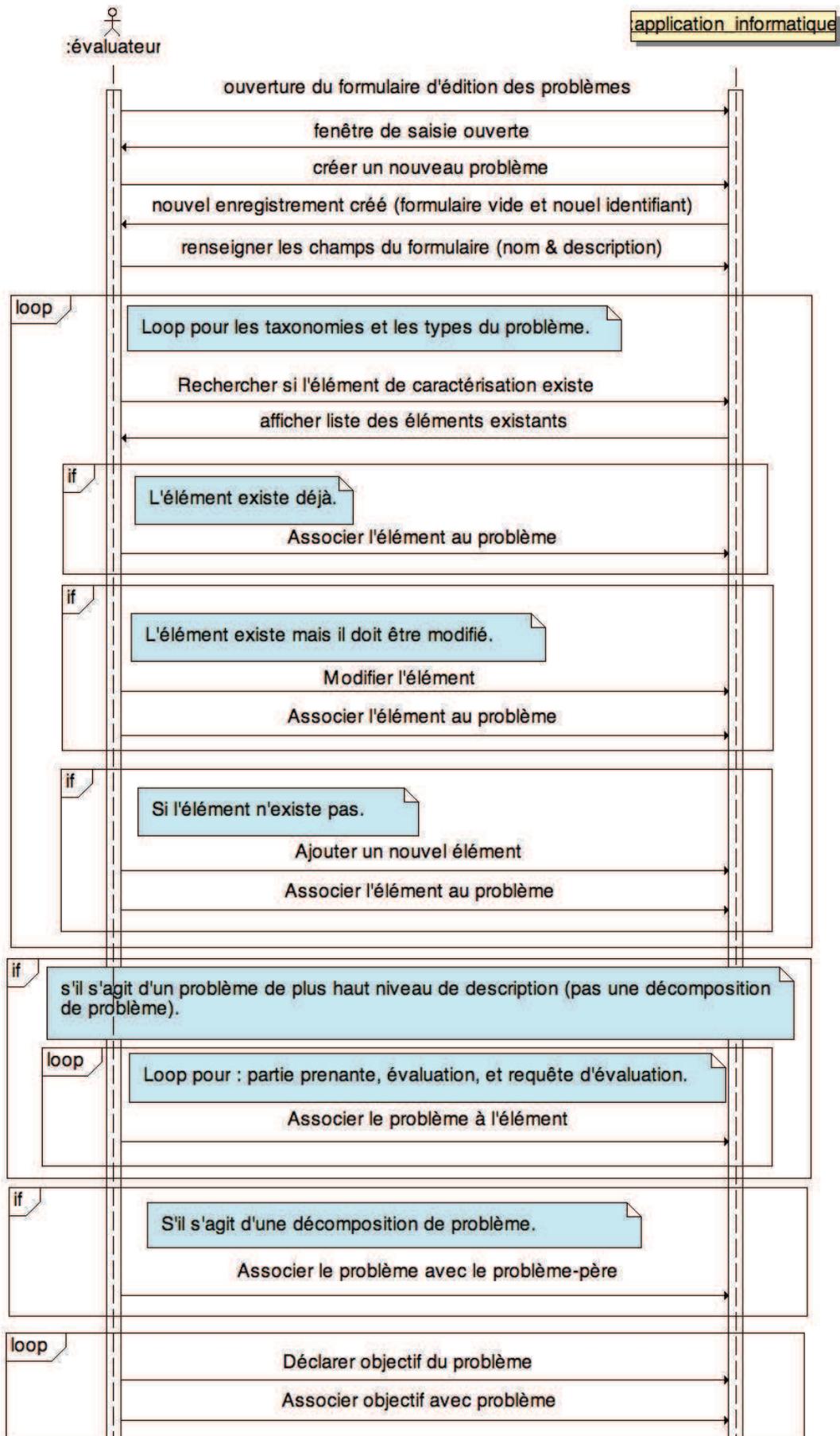


Figure A.12 - Diagramme de séquence de l'activité de déclaration d'un problème

3.2.2.2 - Deuxième étape : extension et conception des problèmes d'évaluation

Les étapes que nous venons de présenter et qui concernent la retranscription du problème d'évaluation n'aboutissent pas nécessairement à sa complète modélisation. L'approche la plus évidente pour compléter cette description consiste à s'entretenir avec le commanditaire afin de travailler avec lui au renseignement du problème. Cependant, dans certains cas le commanditaire n'est pas accessible ou alors il n'est pas en mesure de suffisamment formaliser sa demande. Afin de remédier à ce problème, nous proposons des activités dont l'objectif est de compléter les modèles soit par extension soit par conception.

Nous proposons les trois mécanismes suivants (ils sont également repris dans la Figure A.13) :

- **L'analyse des cas d'études similaires** : il s'agit d'identifier des cas similaires pour lesquels on a des descriptions de problèmes déjà traités et que l'on peut réutiliser. La similarité est calculée en fonction des attributs liés à « la stratégie de sécurité » ou encore à « la partie prenante ». Voir le diagramme de séquences Figure A.14 .
- **L'analyse des représentations systémiques des stratégies de sécurité évaluées** : elle consiste à analyser les éléments caractérisant une stratégie de sécurité afin de construire ou d'étendre les problèmes d'évaluation. C'est par exemple, dans le cadre de l'évaluation de l'ESC, se poser la question sur l'impact de l'ajout ou de la suppression d'un élément ontologique de l'ESC. Ce questionnement peut amener au problème d'évaluation suivant : « comment évaluer différentes configurations structurelles d'ESC ? ». Cette deuxième stratégie ne peut être utilisée que dans le cas où l'évaluateur a au moins un modèle de la stratégie de sécurité qu'il évalue. Voir le diagramme de séquences Figure A.15.
- **L'identification de nouvelles parties prenantes** : il s'agit (1) d'identifier des parties prenantes pour lesquelles on peut construire de nouveaux problèmes en considérant la même stratégie de sécurité. En (2), il s'agit d'identifier des parties prenantes auxquelles on peut associer des problèmes déjà existants (extension des caractéristiques d'un problème). Voir le diagramme de séquences Figure A.16.

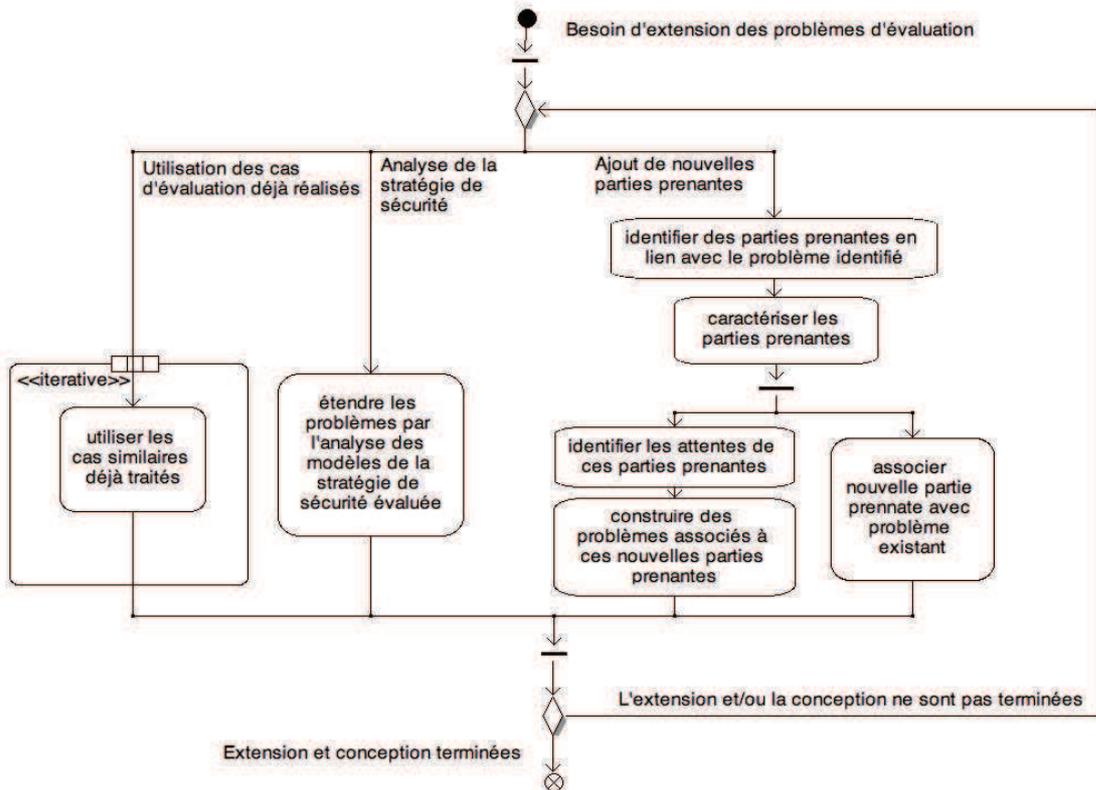


Figure A.13 - Diagramme de construction et d'extension des problèmes d'évaluation

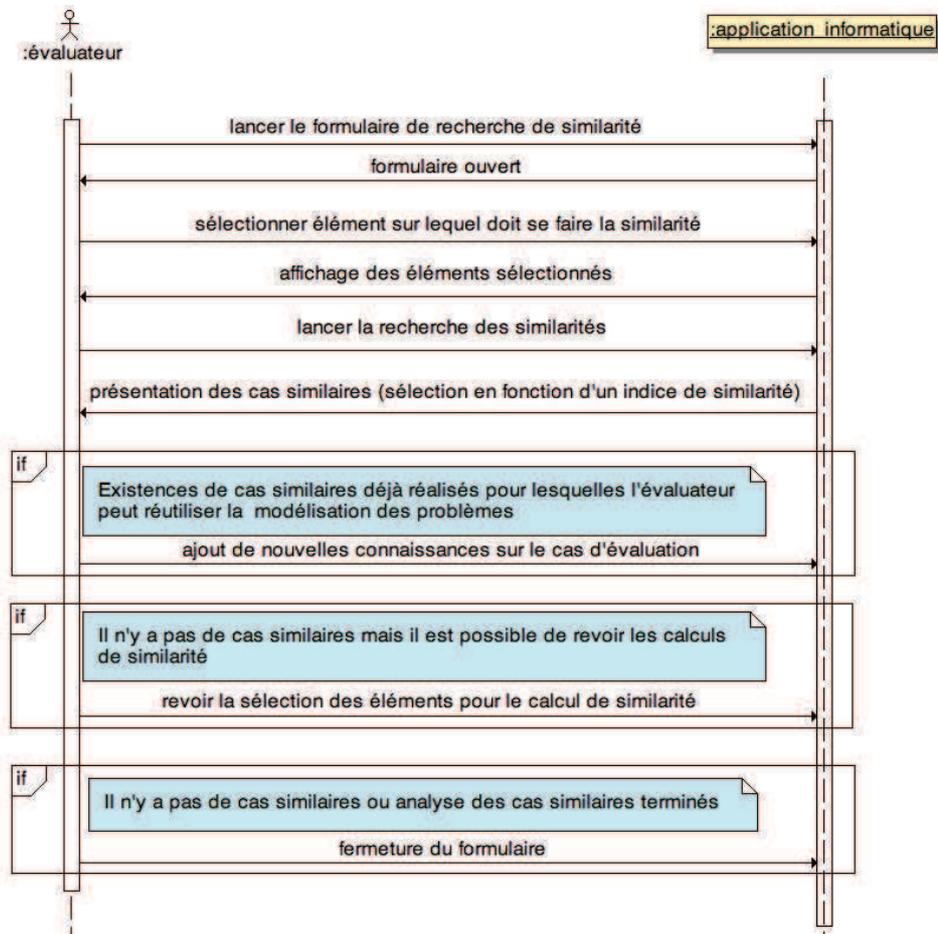


Figure A.14 - Diagramme de séquences de l'activité d'extension des problèmes d'évaluation par la recherche de cas similaires

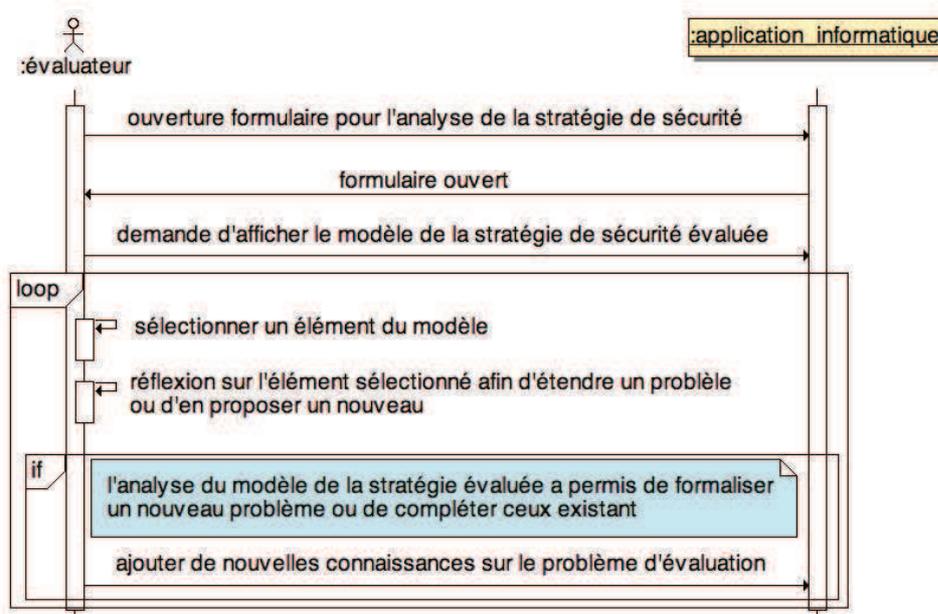


Figure A.15 - Diagramme de séquence de l'activité d'extension et de conception des problèmes d'évaluation par l'analyse du modèle de la stratégie de sécurité routière

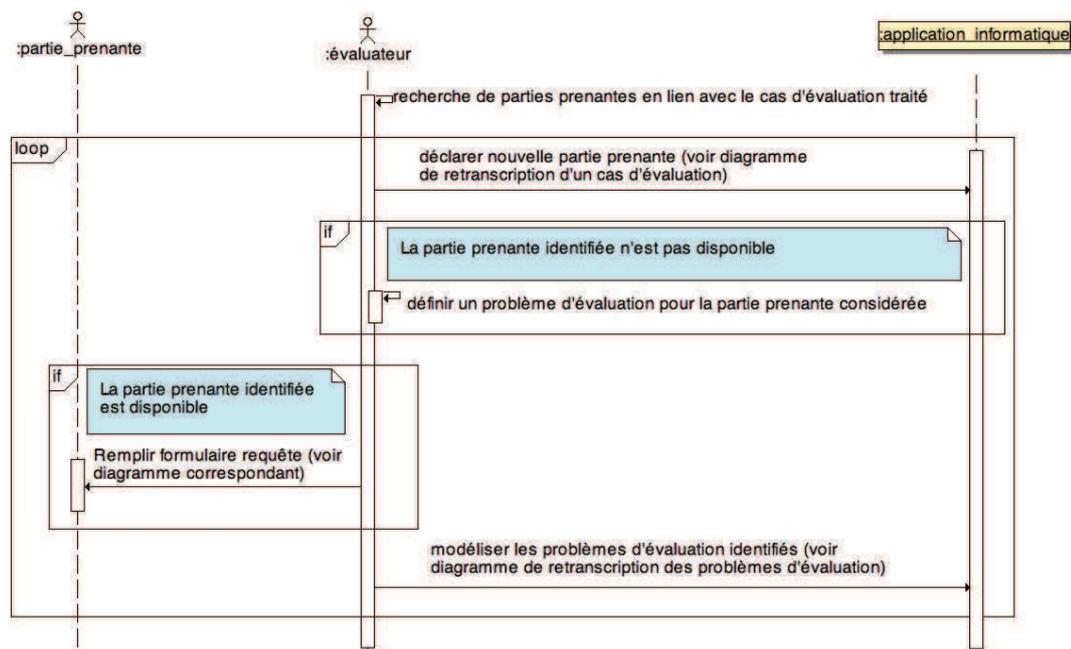


Figure A.16 - Diagramme de séquences de l'activité d'extension et de conception des problèmes d'évaluation par la recherche de nouvelles parties prenantes

3.2.3 - Modélisation des stratégies de sécurité routière

Le dernier cas d'utilisation de la phase d'analyse du cas d'évaluation est « la modélisation de la stratégie de sécurité ». Ce travail de modélisation complète la retranscription de la requête d'évaluation où seule la stratégie de sécurité a été déclarée. La modélisation consiste à déclarer et à modéliser le contexte et le(s) stratégie(s) de sécurité qui sont liés à la stratégie de sécurité ; Nous

utilisons pour cela une approche de modélisation systémique basée sur la description d'éléments reliés les uns aux autres.

La modélisation de la stratégie de sécurité a pour objectif de renseigner les classes représentées dans la Figure A.17.

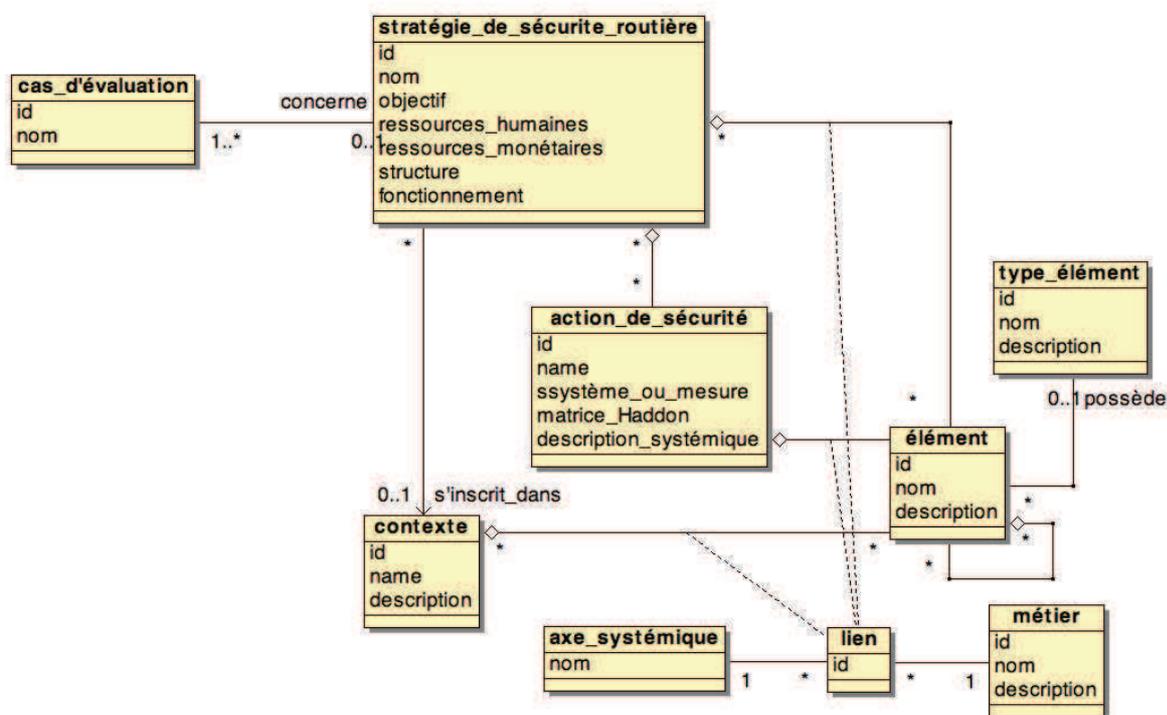


Figure A.17 - Diagramme de classes – structure du méta-modèle de description des stratégies de sécurité

Nous ajoutons de nouvelles classes (en jaune) à celles que nous avons déjà présentées dans les sections précédentes. Nous présentons chacune de ces nouvelles classes en détaillant leurs attributs :

- **Contexte** : classe qui est utilisé pour décrire les éléments encadrant la réalisation de l'évaluation. Elle est décomposée en éléments et est caractérisée par les attributs suivants :
 - **Id** : identifiant du contexte. Il est généré de façon automatique.
 - **Nom** : nom du contexte.
 - **Description** : texte synthétique décrivant le contexte.
- **Action de sécurité** : classe qui décrit la structure des stratégies de sécurité de sécurité. Il peut s'agir de mesure de sécurité ou de systèmes technologiques de sécurité. Une stratégie peut être composée de plusieurs actions qui fonctionnent ensemble ou alors d'une seule. Tout comme le contexte d'évaluation, une action de sécurité est décomposée en élément(s) et est caractérisée par les éléments suivants :
 - **Id** : identifiant de l'action de sécurité. Il est généré de façon automatique.
 - **Nom** : nom de l'action de sécurité.

- **Description** : texte synthétique décrivant l'action de sécurité.
- **Élément** : c'est une classe utilisée pour définir les éléments utilisés pour décrire les actions de sécurité et le contexte. Les éléments utilisés sont réparties en 4 catégories : composant, modèle, concept de modélisation et caractéristique. Cette classe est également caractérisée par les attributs suivants :
 - **Id** : identifiant de l'élément. Il est généré de façon automatique.
 - **Nom** : nom de l'élément.
 - **Description** : texte synthétique décrivant l'élément.
- **Lien** : la classe « lien » est utilisée pour décrire les interactions de modélisation entre élément/action de sécurité, élément/contexte et élément/élément. Chacun des liens est défini par rapport à un axe systémique ainsi que par rapport à un métier (point de vue de modélisation).

La stratégie de modélisation consiste à renseigner les éléments afin de décrire les actions de sécurité et le contexte. La modélisation s'effectue en fonction des parties prenantes et des axes systémiques. La classe « métier » est utilisée pour spécifier le point de vue de modélisation par rapport à une partie prenante. La classe « axe systémique » est utilisée pour définir l'axe auquel se rapporte le lien modélisé. La Figure A.18 présente cette stratégie de modélisation. Elle est également détaillée dans la Figure A.19.

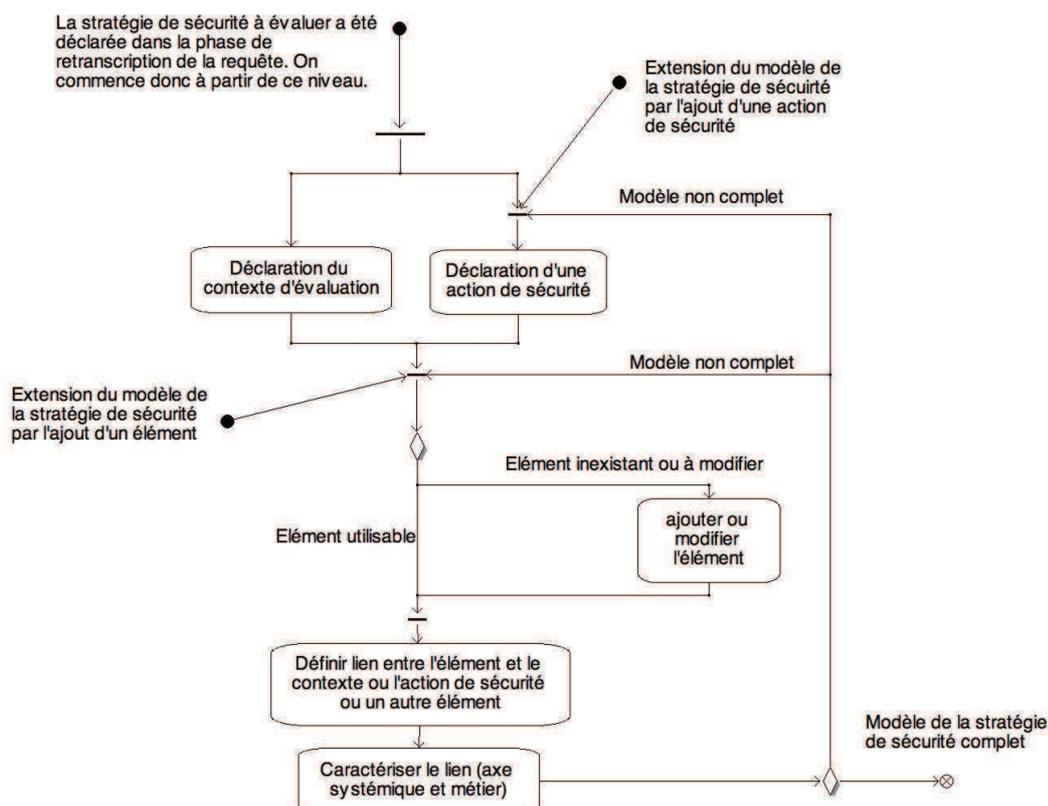


Figure A.18 - Diagramme d'activités – Modélisation des stratégies de sécurité évaluée

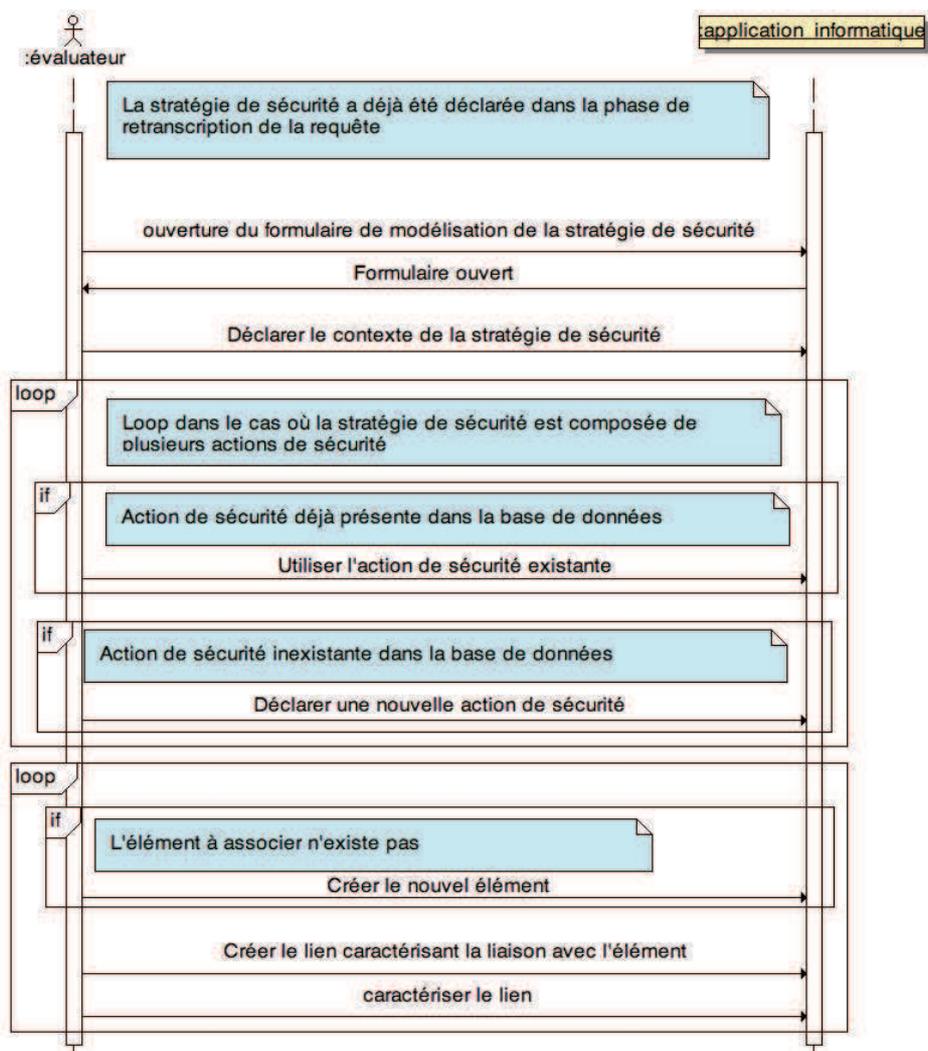


Figure A.19 - Diagramme de séquences de l'activité de modélisation de la stratégie de sécurité

3.3 - Construction des indicateurs d'évaluation

Nous décrivons dans cette section les cas d'utilisation relatifs à la construction des indicateurs d'évaluation (« identifier les indicateurs pertinents » et « conception de nouveaux indicateurs »). L'objectif est de présenter les activités que l'évaluateur doit mettre en œuvre afin de générer des indicateurs d'évaluation qui répondent à un problème d'évaluation. Nous proposons une approche de réutilisation et deux approches complémentaires de conception.

3.3.1 - Description des indicateurs d'évaluation

Avant de détailler ces approches, nous commençons par présenter la classe « indicateur ». Un indicateur fournit une valeur objective qui renseigne sur la performance d'une stratégie de sécurité. Il est construit et calculé par les évaluateurs et est destiné aux parties prenantes. Nous considérons qu'il est constitué d'une métrique, d'éléments et d'autres indicateurs – appelés parfois indicateurs de bases car invariables (voir exemple qui suit).

"i1" est un indicateur qui fournit des informations sur le rapport entre le nombre de vies sauvées sur un an et le coût global des différentes stratégies mises en œuvre au cours de cette année. Le terme "Nombre de décès" est un indicateur de base que nous considérons en fonction des années (elt de modélisation d'un cas d'évaluation). Il pourrait être associé à un pays, une catégorie de personnes, etc. En ce qui concerne les coûts, nous combinons l'indicateur de base "coût" à toutes les mesures de sécurité (elt de modélisation d'un cas d'évaluation).

Erreur ! Des objets ne peuvent pas être créés à partir des codes de champs de mise en forme.

La classe « indicateur » est présentée dans la Figure A.20 et nous le caractérisons par les attributs suivants :

- **Id** : identifiant de la partie prenante. Il est généré de façon automatique.
- **Nom** : nom du positionnement évaluatif auquel est rattaché l'indicateur.
- **Formulation** : description de la structure de l'indicateur.
- **Description** : texte synthétique décrivant l'indicateur.

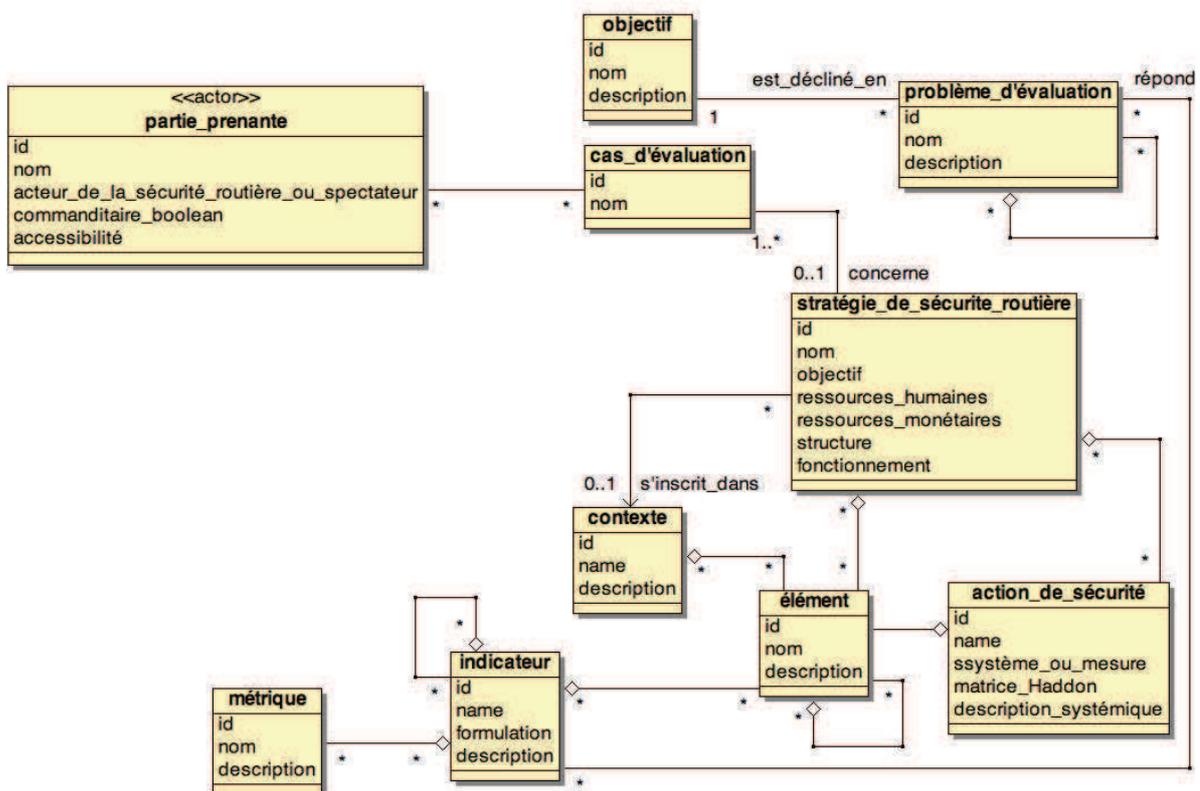


Figure A.20 - Diagramme de classe – Intégration de la classe « indicateur » dans le modèle conceptuel

3.3.2 - Description des propositions pour la génération des indicateurs

Nous proposons trois approches de génération des indicateurs. Elles sont complémentaires et elles utilisent les informations décrivant le cas d'évaluation.

La première a pour objectif de **réutiliser les indicateurs d'autres évaluations**. Nous utilisons pour cela un indice de similarité (voir encadré ci-après) qui nous permet de retrouver des cas similaires. Le calcul de cet indice se fait à partir des attributs décrivant les parties prenantes, les actions de sécurité, les problèmes d'évaluation et les positionnements évaluatifs.

La réutilisation peut être directe ou alors nécessiter une phase d'adaptation (transformation de l'indicateur par analogie aux modifications du contexte par exemple). Cette proposition est présentée dans la **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** et la Figure A.22.

Pour calculer la similarité, nous utilisons l'indice de Jaccard. Il est « le rapport entre la cardinalité de l'intersection des ensembles reconnus et la cardinalité de l'union des ensembles, il permet d'évaluer la similarité entre les ensembles ». L'indice de Jaccard est compris dans [0, 1], 1 étant une valeur indiquant la similarité totale entre les deux espaces. Soit deux cas E1 et E2, l'indice de Jaccard est :

$$J(E1, E2) = \frac{|E1 \cap E2|}{|E1 \cup E2|}$$

Chacun de ces cas est décrit par un ensemble d'attributs tels que :

$$E1 = (E1_1, E1_2, E1_3, \dots, E1_n)$$

$$E2 = (E2_1, E2_2, E2_3, \dots, E2_m)$$

On définit les valeurs suivantes :

M_c est le nombre d'attributs commun dans $E1$ et $E2$
 $M1$ est le nombre d'attributs caractérisant $E1$
 $M2$ est le nombre d'attributs caractérisant $E2$

L'indice de Jaccard devient :

$$J = \frac{M_c}{M1 + M2 - M_c}$$

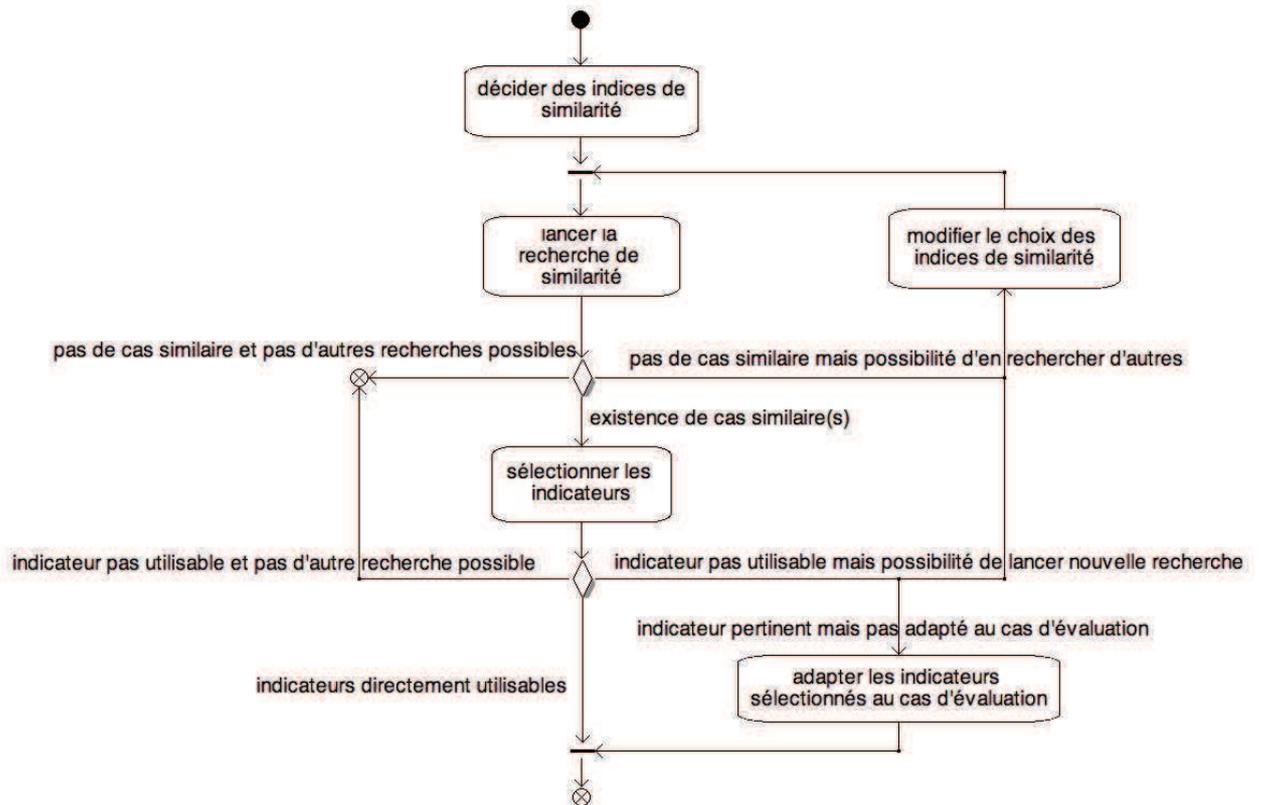


Figure A.21 - Diagramme d'activités – Identification et construction des indicateurs par la réutilisation des cas déjà traités

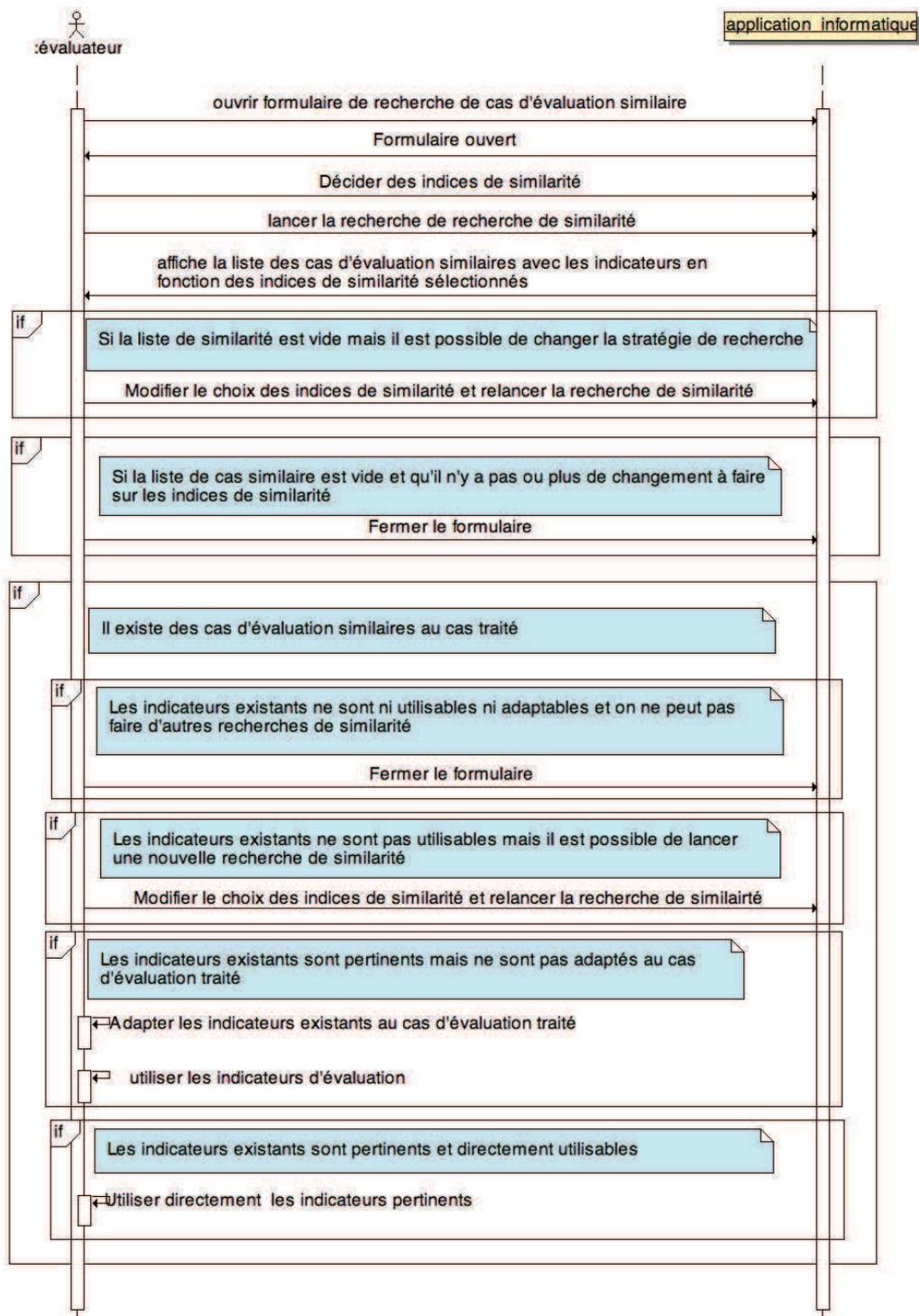


Figure A.22 - Diagramme de séquences de l'activité de construction des indicateurs par réutilisation des cas déjà traités

Les deux autres approches de génération des indicateurs sont des approches de **conception basées sur l'utilisation de connaissances**. Ces dernières sont par exemple celles qui décrivent la stratégie de sécurité évaluée ou les positionnements évaluatifs.

La première consiste à utiliser la structure des indicateurs pour générer automatiquement des propositions d'indicateurs par combinaison des items décrivant le cas d'étude (éléments de modélisation) ou les indicateurs élémentaires (voir Figure A.23). Cette approche, qui génère

rapidement un grand nombre de possibilités, implique une tâche de sélection des indicateurs pertinents. Voir la Figure A.24 et la Figure A.25.

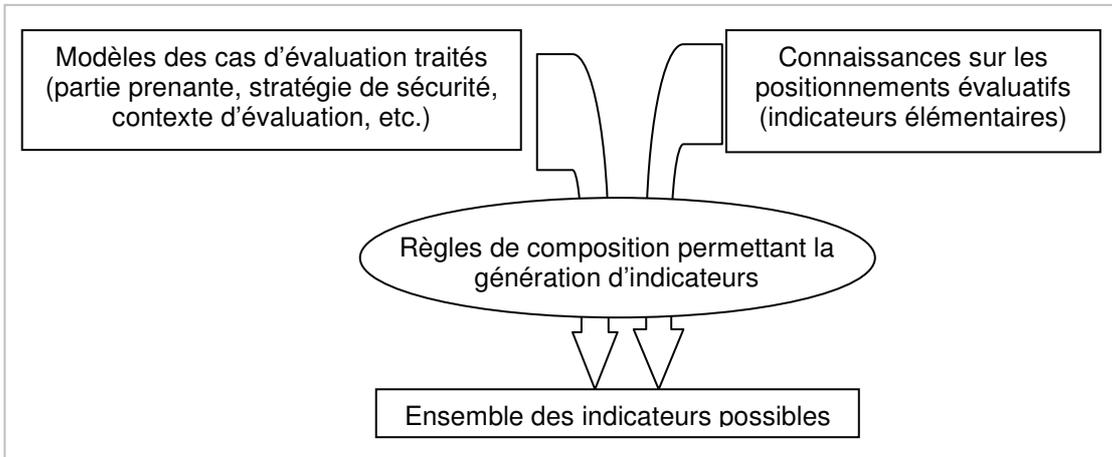


Figure A.23- Principe de fonctionnement de la méthode de génération automatique d'indicateurs d'évaluation

Dans la seconde approche, l'évaluateur utilise une théorie de créativité pour construire de nouveaux indicateurs, c'est la théorie C-K. Son objectif est d'encourager les évaluateurs à utiliser toutes les connaissances sur l'évaluation pour proposer de nouveaux indicateurs. Elle est basée sur l'utilisation des connaissances existantes mais propose également de gérer l'acquisition de nouvelles connaissances. Au fur et à mesure que l'évaluateur avance dans la conception, il acquiert de nouvelles connaissances qui peuvent être directement utilisées dans la conception des indicateurs. Voir la Figure A.26 **Erreur ! Source du renvoi introuvable.** et la Figure A.27.

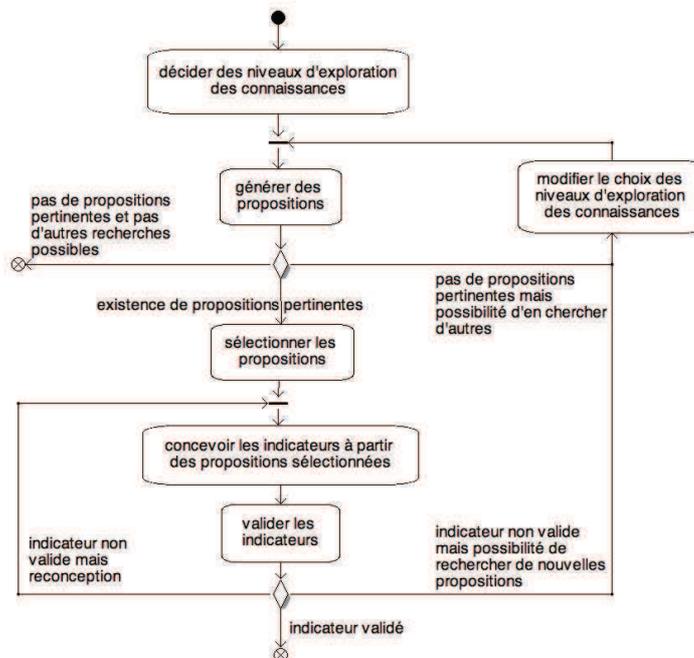


Figure A.24 - Diagramme d'activités – Conception des indicateurs

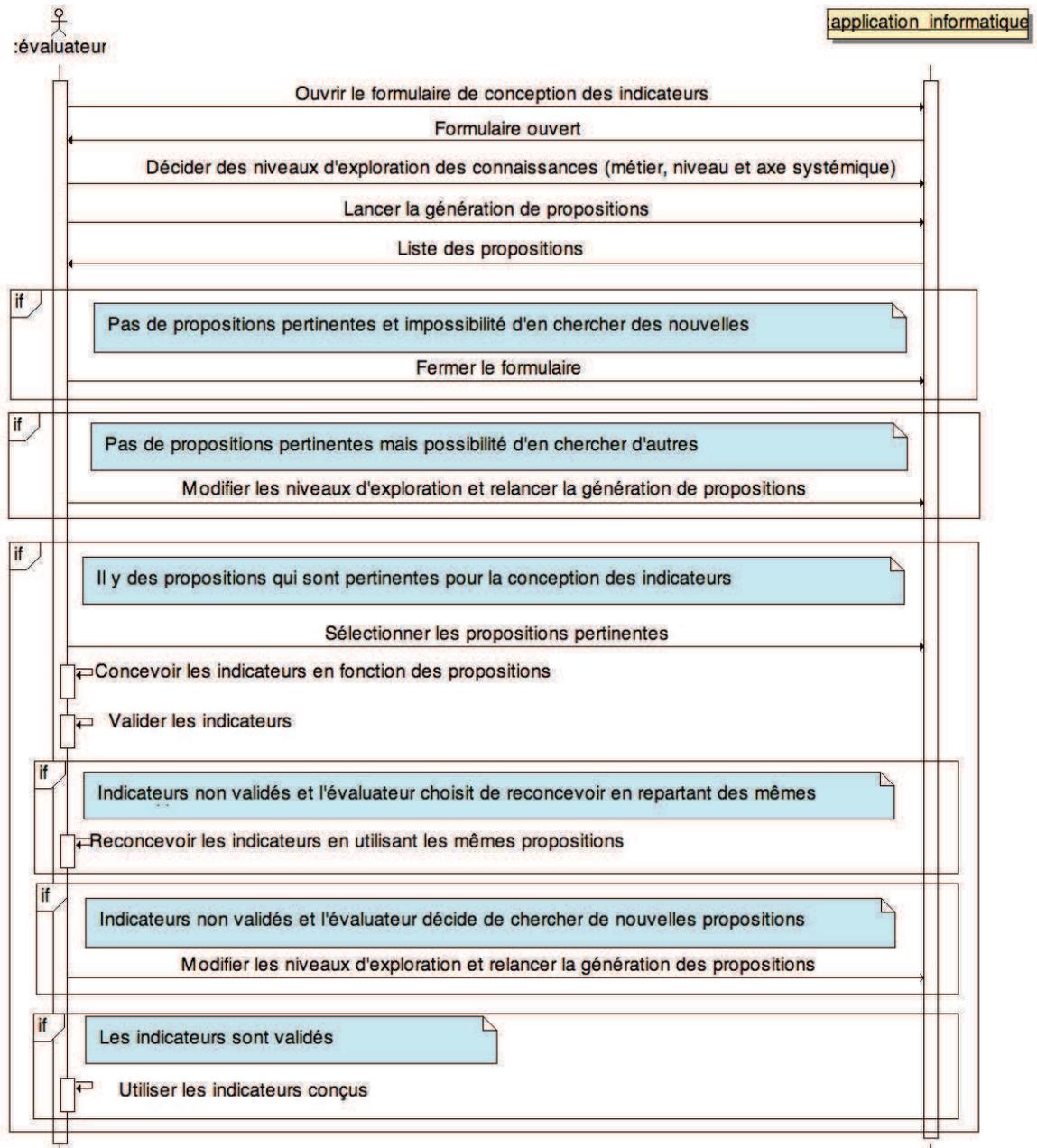


Figure A.25 - Diagramme de séquences de l'activité de conception des indicateurs

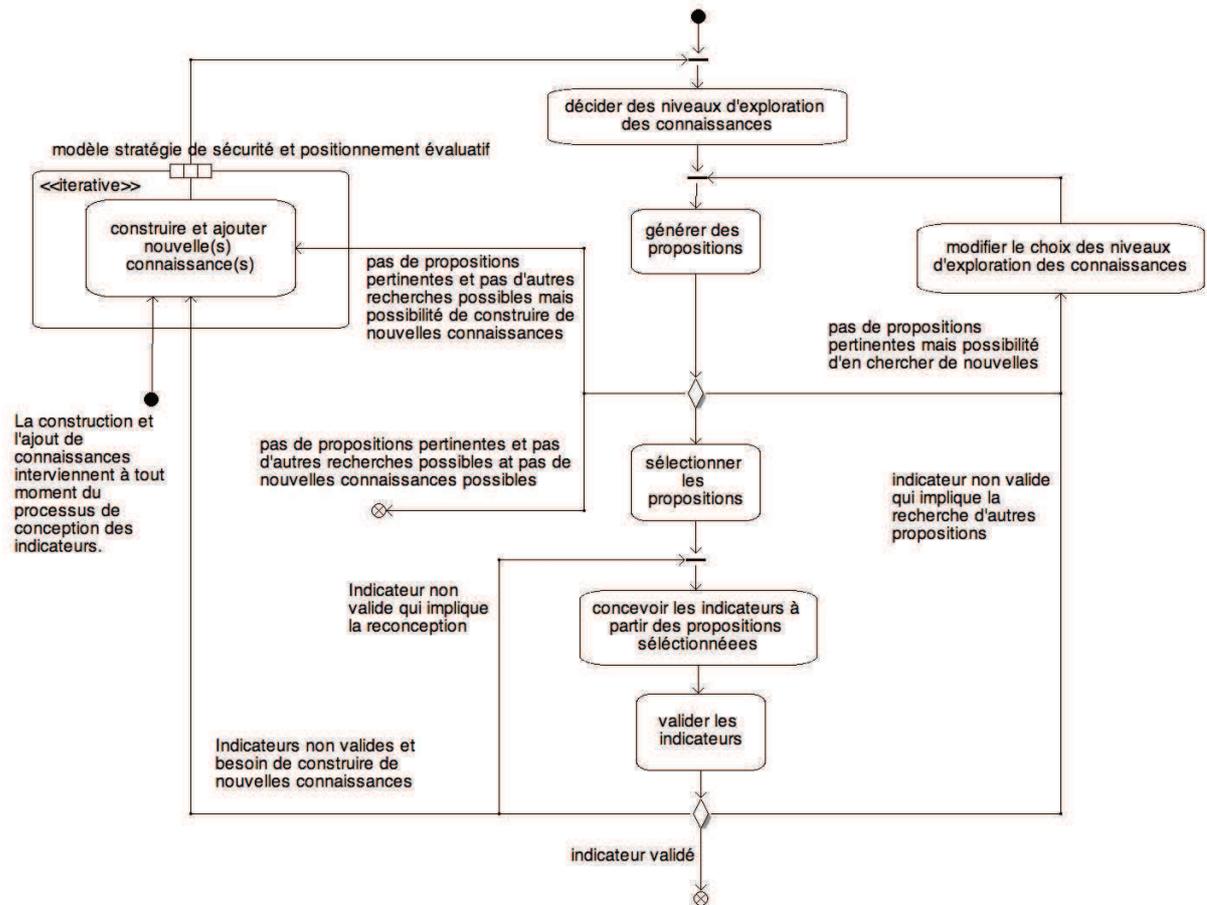


Figure A.26 - Diagramme d'activités – Conception des indicateurs et ajout de connaissances

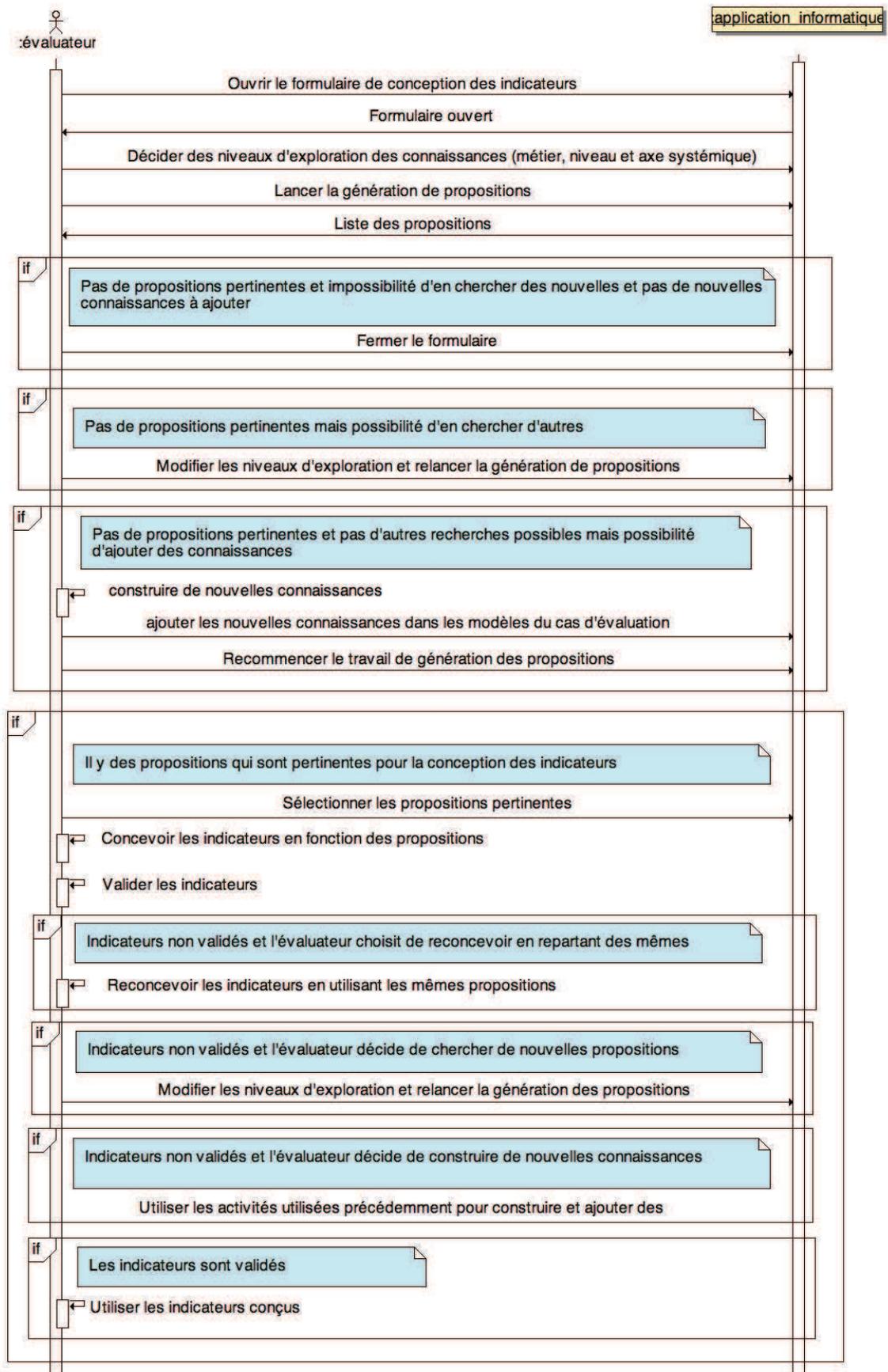


Figure A.27 - Diagramme de séquence de l'activité de conception des indicateurs avec ajout de nouvelles connaissances

Nous synthétisons ces trois propositions pour la génération des indicateurs dans la figure suivante (voir Figure A.28). Le choix de l'une ou de l'autre approche se fait en fonction de

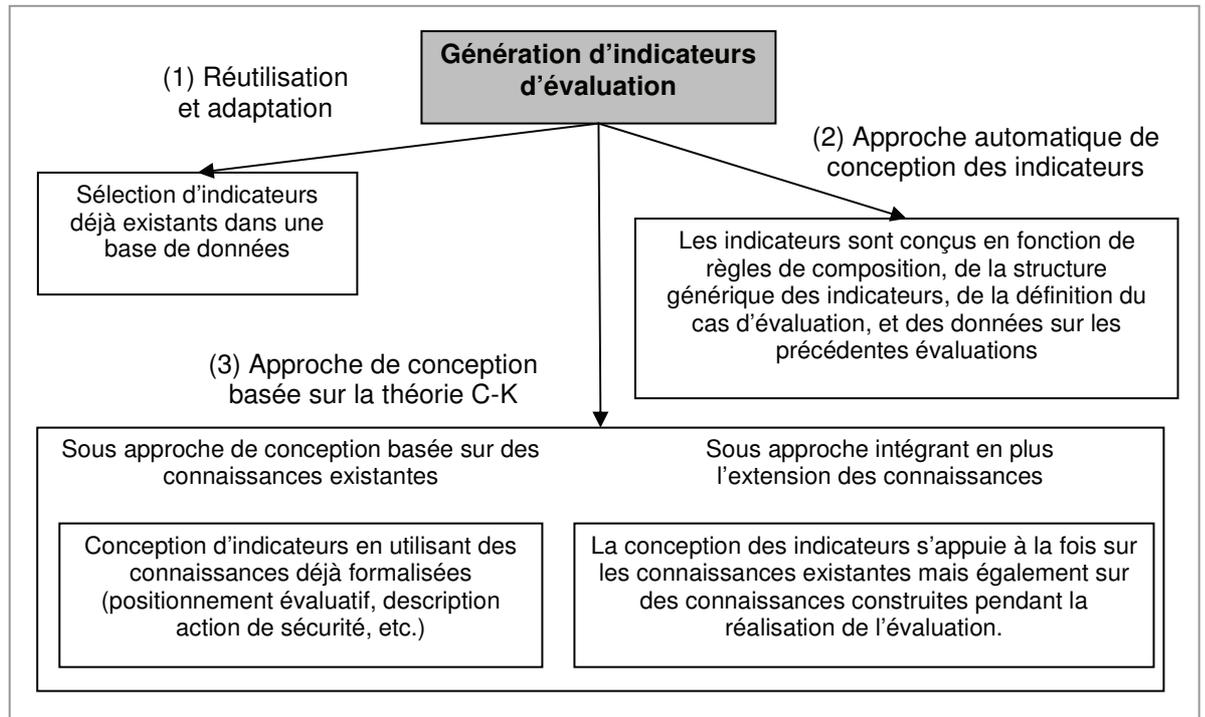


Figure A.28 - Synthèse des approches et des sous-approches utilisées pour la génération des indicateurs

4. Conclusion

Ce document de synthèse présente le cahier des charges de l'application informatique que nous souhaitons développer. L'objectif est de proposer une application qui va guider l'évaluateur dans la réalisation de son activité. Nous proposons une application qui est focaliser (1) sur l'instrumentation de classes afin de décrire un cas d'évaluation et (2) sur l'aide à la génération des indicateurs d'évaluation.

Nous avons commencé par présenter un modèle de l'activité d'évaluation. C'est un modèle en cinq phases que nous utilisons en partie pour notre travail de recherche. Nous nous focalisons sur les deux premières phases qui sont celles d'analyse et de construction des évaluations. Les trois suivantes sont des phases d'exécution qui découlent des deux premières.

La phase d'analyse du cas d'évaluation a pour objectif la construction de modèles sur la stratégie de sécurité routière évaluée et sur les attentes des parties prenantes de l'évaluation. Les modèles construits sont les connaissances nécessaires à l'exécution de l'évaluation. La compréhension des actions de sécurité permet la recherche des indicateurs de performance. Ils sont par exemple basés sur le fonctionnement observé ou anticipé des stratégies de sécurité. Afin de garantir une évaluation pertinente pour chacune des parties prenantes, nous proposons une approche de modélisation basée sur les points de vue. Les modèles construits sont ainsi liés à une partie prenante. Enfin, la modélisation des attentes des parties prenantes a pour objectif la formalisation de problèmes d'évaluation. Ils sont la retranscription de leurs attentes et sont utilisés pour guider la recherche et la validation des indicateurs d'évaluation.

La phase de construction des indicateurs est basée sur l'utilisation des connaissances sur le cas d'évaluation traité ainsi que sur celles des cas déjà traités. Nous proposons trois approches complémentaires pour décrire cette phase. La première consiste à identifier des cas d'évaluation similaires pour lesquels l'évaluateur peut réutiliser les indicateurs. La deuxième et la troisième approche consistent à construire des indicateurs à partir de propositions. Ces propositions sont générées par l'utilisation des connaissances sur le cas d'évaluation et sont utilisées par l'évaluateur afin de le guider dans son processus de conception. La troisième approche ajoute à ce fonctionnement, la possibilité d'étendre les connaissances utilisées par la conception. L'évaluateur a alors la possibilité d'ajouter des connaissances et ainsi générer de nouvelles propositions. Ces connaissances sont par exemple construites par la recherche de nouvelles compétences ou l'expérimentation.

Nous proposons un cahier des charges afin de construire une application qui va guider la réalisation de ces deux phases. Il définit la structure de l'application informatique (les diagrammes de classes) et son fonctionnement en interaction avec les évaluateurs (diagrammes de cas d'utilisation, d'activités et de séquences).

Documents complémentaires

Document 1 - Les indicateurs économiques

La monétarisation des accidents de la route s'intègre dans une approche de rationalisation de la sécurité routière. Il est ainsi possible de comparer les efforts mis en place pour réduire l'insécurité routière et les résultats à parti d'un même moyen de mesure : la monnaie. Nous présentons dans cette section différentes approches qui permettent de traiter la monétarisation des accidents de la route (coûts directs, coûts indirects, et WTP⁷⁴ ou WTA⁷⁵). Même si certains auteurs tels qu'Elvik [Elvik and Amundsen, 2000] ont montré que ce type d'approche permet de réduire l'insécurité routière en maximisant l'efficacité (rendement), il est néanmoins nécessaire de rappeler que dans la « vision zéro » proposée par Tingvall suggère l'utilisation de tous les moyens disponible ne serait ce que pour sauver une seule vie [Tingvall and Haworth, 2000]. Dans ce cas, la vie n'a pas de prix. Malgré ce questionnement éthique, c'est une approche qui tend à se développer et pour laquelle de nombreux travaux de recherche ont été et sont effectués.

La monétarisation fournit des éléments pour l'évaluation mais également pour la communication. Elle propose des résultats qui sont utilisés comme des arguments pragmatiques et directement utilisables dans une société où les aspects économiques ont pris une place prépondérante. Nous présentons ici un aperçu des indicateurs et approches les plus utilisés dans ce domaine.

Dans le cadre du projet européen eIMPACT [eIMPACT, 2007], trois approches d'évaluation de l'impact socio-économique sont présentées : « cost-benefit analysis » (CBA), « cost-effectiveness analysis » (CEA) et « multi-criteria analysis » (MCA).

La **CBA** consiste à exprimer à faire le ratio en termes monétaires des ressources utilisées (les coûts) et des ressources sauvées (les bénéfices). Cet outil est utilisé dans l'objectif d'identifier les actions de sécurité pour lesquelles les bénéfices sont supérieurs aux coûts, on cherche le meilleur rapport. Cette approche fournit des résultats qui font face à certaines limites : certains phénomènes économiques ne sont pas pris en compte (gains de production ou encore augmentation de l'emploi), il n'y a pas de distinction entre ceux qui payent et ceux qui reçoivent les bénéfices (on considère la société dans sa globalité) et tous les impacts d'une nouvelle action ne sont pas évaluables.

En ce qui concerne le **CEA**, elle propose deux approches complémentaires. La première consiste à sélectionner l'action de sécurité la plus efficace pour un niveau de coût équivalent. L'autre consiste à identifier l'action la moins onéreuse pour un niveau de performance équivalent.

Enfin, la **MCA** propose de déterminer les actions de sécurité en fonction d'un ensemble d'objectifs. La problématique principale nous concernant par rapport à cette approche est d'être en

⁷⁴ WTP : Willingness To Pay

⁷⁵ WTA : Willingness To Accept

mesure de fournir les bons indicateurs qui servent à répondre aux objectifs. Les problématiques liées à la prise de décision sont à la limite de notre travail et ne sont donc pas traitées en profondeur.

Le travail de recherche concernant ces différentes approches est d'identifier et de quantifier les coûts et les bénéfices. Ils sont de nature très variée et leur spécification se fait par une étude approfondie des parties prenantes. On identifie par exemple les ressources de temps, d'énergie, liées à l'environnement (CO2), etc. L'objectif est de pouvoir identifier et caractériser les impacts de l'introduction de nouvelles actions de sécurité. On trouvera dans le rapport D3 d'eIMPACT le détail des éléments pris en considération dans l'évaluation CBA.

L'analyse des différentes recherches sur l'évaluation monétaire en sécurité routière montre que de nombreux auteurs ont travaillé sur la monétarisation des accidents [Elvik, 2000] [Trawen *et al.*, 2002], [Svensson and Vredin Johansson, 2010], et [De Blaeij *et al.*, 2003]. Cette activité peut se décomposer en trois grandes parties : une qui correspond au calcul des coûts directs des accidents (dégâts biens matériels, assurances, secours,...), une autre qui correspond aux coûts indirects (perte de production et perte d'un consommateur (cas de décès)), et enfin une troisième qui est liée à la « valeur statistique de la vie humaine ». Cette dernière est nommée VOSL⁷⁶ [De Blaeij, 2003] et est calculée à partir des techniques WTP ou WTA. Ces deux techniques ont pour objectif respectif d'estimer le prix que les gens sont prêts à payer pour une réduction de x % du risque d'être impliqué dans un accident mortel ou le prix qu'ils sont prêts à recevoir pour accepter une augmentation du risque d'être impliqué. L'estimation est réalisée à l'aide de questionnaires ou par l'analyse des comportements (ex : achats d'options de sécurité sur un véhicule neuf).

Cette définition en trois parties de la monétarisation des accidents de la route permet de proposer plusieurs approches de monétarisation, Maycock en distingue 6 différentes [Maycock, 1986] :

- “*the gross output approach*” : cette approche prend en compte l'ensemble des coûts directs ainsi que les coûts futurs de non production. La peine ou la souffrance ne sont pas pris en compte.
- “*the net output approach*” : même chose que précédemment mais avec le retrait du manque de consommation future.
- “*the life insurance approach*” : le coût de l'accident est à mettre en relation avec la somme que les gens sont prêts à mettre pour assurer leur vie.
- “*the court award approach*” : valeur de la somme de compensation définie par le tribunal.
- “*the implicit public sector valuation approach*” : les coûts impliqués par les investissements.
- “*the willingness to pay approach*” : basée sur le fait que les décisions publiques doivent refléter la volonté des citoyens. Somme que les gens sont prêts à mettre pour une amélioration de la sécurité, ou inversement (recevoir de l'argent pour une baisse du niveau de sécurité).

⁷⁶ VOSL : Value Of Statistical Life

Les méthodes de calcul ne sont donc pas identiques dans tous les pays. La classification des coûts (directs, indirects et WTP/WTA) et l'évaluation sont différentes. Par exemple, dans [Trawen, 2002] le coût d'un accident mortel est estimé en 1999 à environ 900 000 USD en Autriche et à plus de 3 500 000 USD aux USA. De plus la répartition des coûts est aussi très différente. Aux USA la plus grande partie du coût total est attribuée au coût de la vie humaine (VOSL) alors qu'en Autriche ce coût est inexistant. On remarque aussi que le coût des accidents de la route évolue au court du temps (augmentation moyenne de 6% entre 1990 et 1999).

En France, nous présentons dans le Tableau D.1 les coûts en fonction de la gravité des blessures occasionnées par les accidents de la route. Cette figure permet de voir l'évolution des coûts entre 1997 et 2006.

Tableau D.1 - Le coût des accidents de la route en France en fonction de la gravité des blessures en 1997 et 2006

	En 1997, les coûts ⁷⁷ de ces victimes et des accidents donnés dans les cahiers de l'Observatoire	En 2006, chiffres de la sécurité routière
Nombre de tué	7 989 morts (à 6 jours)	4 709 morts (à 30 jours)
Nombre de blessé	169 578 blessés	102 125 blessés
Coût moyen d'un tué	3,9 millions de francs (594 550 euros)	1 193 947 euros (+ 6 181 euros de dégâts matériels)
Coût moyen d'un blessé grave	402 000 francs (61 280 euros)	128 987 euros (blessé hospitalisé)
Coût moyen d'un blessé léger	85 000 francs (12 960 euros)	5 160 euros (blessé léger)
Coût global des accidents corporels	58,6 milliards de francs (8,9 milliards d'euros)	11,6 milliards d'euros
Coût global des accidents purement matériels	60 milliards de francs (9, 15 milliards d'euros)	13,3 milliards d'euros
En Europe, le coût total est estimé à	1060 milliards de francs (160 milliards d'euros)	-

⁷⁷ Détail des calculs :

- Les coûts marchands directs : les coûts médicaux et sociaux, les coûts matériels, et les frais généraux.
- Les coûts marchands indirects : perte de production future, perte de production temporaire (pour les blessés), et perte de production potentielle.
- Les coûts non marchands : le calcul des coûts non marchands est fondé sur la jurisprudence des compagnies d'assurances pour les tués et les blessés (préjudice moral, préjudice esthétique, préjudice à la famille, ...).

L'estimation du coût des accidents de la route n'est qu'une étape dans l'évaluation économique des actions de sécurité. L'objectif est de pouvoir comparer, sur un niveau économique, les actions de sécurité afin d'identifier celles qui ont le meilleur rapport bénéfice/coût.

Dans [Guria, 1999], les programmes de sécurité sont évalués en fonction des coûts et des bénéfices. Cette évaluation s'inscrit dans une volonté de la LTSA⁷⁸ de réaliser des allocations efficaces des ressources dans les actions de sécurité routière. Ce travail de recherche propose de prendre en compte des facteurs environnementaux dans le calcul des bénéfices : l'augmentation du trafic et l'amélioration des infrastructures qui se fait en parallèle du développement des programmes de sécurité.

Dans [Rienstra *et al.*, 2000], l'analyse des actions de sécurité prises par les entreprises privées de transports montrent que leur efficacité n'est pas fonction de leur coût. Il existe des actions peu coûteuses qui ont un bon niveau d'efficacité et qui sont donc très faciles à mettre en place pour les entreprises. Cette analyse coût/bénéfice est accompagnée d'une identification du niveau de difficulté de l'introduction d'une mesure de sécurité (résistance des utilisateurs).

De part les méthodes de calcul, les évaluations économiques portent principalement sur des coûts pour la société, que ce soit en termes de dépenses ou de bénéfices. On considère donc que ce type d'évaluation est principalement destiné à des parties prenantes qui sont impactées par les bénéfices calculés (pouvoir public ou entreprise de transport). Cependant, nous n'avons pas identifié, en sécurité routière, d'évaluations économiques destinées aux parties prenantes telles que les constructeurs automobiles. Il semble donc pertinent de travailler à identifier l'intérêt de ce type d'évaluation en fonction des parties prenantes considérées.

L'état de l'art montre qu'il existe un grand nombre de références qui portent sur l'évaluation économique en sécurité routière dans un contexte de relation non commerciale directe (pouvoirs publics/usagers ou chauffeur routier/patron). Par contre nous n'avons pas trouvé de références portant sur l'évaluation économique en sécurité routière dans le contexte du commerce. Ce genre de référence se trouve dans d'autres domaines que la sécurité routière (exemple de l'analyse de la valeur).

⁷⁸ LTSA : Land Transport Safety Authority of New Zealand

Document 2 - Eléments de connaissance sur les pratiques de l'évaluation en sécurité routière

Les méthodes a priori et a posteriori

En sécurité routière, comme dans beaucoup d'autres domaines, on distingue les deux approches d'évaluation suivantes : **évaluation a priori** et **évaluation a posteriori** [Page *et al.*, 2007] et [Karabatsou *et al.*, 2007]. Le choix de l'une ou l'autre est conditionné par les attentes d'évaluation des parties prenantes et les outils/méthodes/données disponibles.

L'évaluation a priori consiste à réaliser l'évaluation avant la mise en service de l'action de sécurité dans son environnement de fonctionnement final. Elle est donc souvent utilisée dans les phases amont de développement des actions de sécurité. Il s'agit par exemple d'être en mesure de déterminer la meilleure solution à développer parmi un ensemble de possibilités. L'utilisation d'une telle approche nécessite des capacités de prédiction des comportements du système routier.

L'évaluation a posteriori consiste à étudier les comportements du système routier une fois que la stratégie de sécurité y est intégrée. Les usagers de la route ont utilisé ou ont été influencés par la stratégie pendant une durée allant de plusieurs mois à plusieurs années. Il peut s'agir d'approches destinées à la comparaison ou alors à la construction de diagnostic. La comparaison est l'objectif principal car on cherche le plus souvent à valider ou à contrôler l'efficacité des actions de sécurité.

Ces évaluations sont basées sur les prédictions ou les descriptions du fonctionnement de stratégie de sécurité

Ces évaluations sont principalement basées sur une analyse approfondie des différents diagnostics de sécurité routière. L'utilisation d'une telle approche pose des problèmes liés à l'identification de la portée de l'action de sécurité évaluée ainsi qu'au recueil et au traitement des données.

Les données utilisées pour la construction et la réalisation des évaluations

L'activité d'évaluation nécessite des données sur le système routier que ce soit pour sa construction ou pour sa réalisation. Les données sont par exemple utilisées pour : la compréhension du système routier, la réalisation de prédictions du fonctionnement des stratégies de sécurité ou encore pour le calcul des indicateurs.

D'après le constructiviste (Cf. Chap. 4), l'interprétation et l'utilisation de ces données sont dépendantes des modélisateurs/évaluateurs. L'interprétation du système que ce soit pour la prédiction ou la compréhension diffère donc selon les modélisateurs. Malgré ce positionnement, il existe tout de même des modèles génériques qui servent par exemple à analyser le système routier. Nous présentons par la suite certains de ces modèles.

La première étape consiste à recueillir des données sur la sécurité routière. Les données utilisées en sécurité routière pour l'évaluation sont diverses et variées. On considère par exemple les données sur les accidents de la route et les victimes, sur l'exposition au risque, les attitudes et les comportements. On trouvera dans [Fontaine *et al.*, 2003] une présentation complète des principales bases de données utilisées suivant cette classification. Nous continuons par la présentation des principales bases de données utilisées au LAB. Les EDA⁷⁹ sont utilisés dans cet objectif [Baker and Fricke, 1986], [Ferrandez *et al.*, 1986], [Ferrandez *et al.*, 1995] et [Rivière, 2001]. Une équipe pluridisciplinaire recueille les informations sur un accident. L'objectif est de conduire cette analyse le plus rapidement possible après la survenue de l'accident. Cela permet de recueillir des données brutes fiables sur la position des véhicules après l'accident, les marques au sol, les marques sur l'infrastructure, etc. Toutes ces données servent à construire « *des connaissances fines sur les mécanismes accidentels* » que ce soit en sécurité primaire ou secondaire ou tertiaire. Le LAB a confié cette mission à une équipe du CEESAR dont la zone d'activité est située en région parisienne. Depuis 1995, 1100 cas ont été étudiés en détails en utilisant une base de données d'environ 1000 variables.

La base EDA n'est pas la seule source de données utilisée par le LAB. Il existe également une base de données orientée sécurité secondaire. Les cas expertisés sont situés dans une zone géographique définie (Yvelines) ou alors sur tout le territoire Français lorsqu'il s'agit de cas ciblés (utilisation de critères sur le modèle de véhicule, la typologie du choc, la nature des impliqués, etc.). En 2009, 250 accidents ont été expertisés (avec un total de 356 véhicules). Le LAB utilise également d'autres bases fournies par des organismes extérieurs (exemple du fichier BAAC fourni par l'ONISR).

Certaines des problématiques associées à la spécification et à la gestion des données sont détaillées dans les points suivants :

- La problématique la plus importante est de savoir ce que l'on doit rechercher comme informations. Lorsque que les accidentologues vont sur le terrain pour analyser un accident, ils utilisent une structure de base de données dans laquelle figure les variables à relever. Ces variables sont justifiées par leur utilisation. Cependant, face au nombre élevé de variables (1000 pour les EDA), le travail de sélection est difficile. Chacune des variables ne peut être justifiée et il est surtout difficile de les justifier pour des utilisations futures (besoin d'anticiper pour avoir un nombre de cas suffisants). En évaluation, le choix sur les variables est réalisé (mais pas uniquement) par l'analyse des besoins en fonction des approches a priori et a posteriori (voir le Tableau D.2).
- La gestion des données à travers le temps pose des problèmes tels que l'harmonisation des données ou la non-continuité du recueil. De part l'évolution constante du système routier, il est aussi nécessaire de faire évoluer la structure des données que l'on recueille. Certaines deviennent pertinentes alors que d'autres n'ont plus d'intérêt. Cette problématique est d'autant plus pertinente lorsque l'on considère des évaluations à l'échelle internationale où les besoins exprimés et les approches associées aux données varient.

⁷⁹ EDA : Études Détaillées d'Accident

- Le recueil des données implique l'utilisation de ressources matérielles et humaines qui peuvent s'avérer conséquentes lorsque l'on cherche à avoir un haut niveau de précision et de confiance dans les résultats. Il est parfois impossible de réunir les ressources nécessaires ce qui implique des contraintes importantes sur la construction et la réalisation de l'évaluation.

Tableau D.2 - Besoins en données pour la modélisation des stratégies de sécurité en fonction des approches d'évaluation a posteriori et a priori

	Approche a posteriori	Approche a priori
Description du système à modéliser	L'action de sécurité à évaluer est complètement définie puisqu'elle est en utilisation. Cependant, sa modélisation peut être partielle pour certains acteurs de l'évaluation.	L'action de sécurité peut ne pas être totalement spécifiée, il peut s'agir d'une simple idée ou d'une solution technique complètement définie.
Besoin en données	La modélisation de la stratégie passe par l'observation de la réalité. Les contraintes sont par exemple les suivantes : <ul style="list-style-type: none"> • Posséder des outils de recueil de données qui soient adaptés à la nature des besoins en termes de niveau de détails, • Posséder des modèles d'interprétation des données pour la compréhension du système routier. 	La compréhension du système routier futur passe par l'utilisation des observations actuelles à partir desquelles on construit des prédictions de fonctionnement. L'objectif étant de déterminer les effets potentiels de la modification du système routier par l'introduction ou la modification ou le retrait d'un de ces composants.

Les données sont ensuite utilisées pour répondre à des attentes d'évaluation et/ou pour construire de la connaissance sur les mécanismes accidentels. Des méthodes et des modèles théoriques sont utilisés afin de réaliser ce travail d'analyse.

Le concept de STA⁸⁰ est utilisé pour l'agrégation des cas d'accident afin de faciliter l'utilisation des informations [Brenac and Fleury, 1999], [Brenac and Megherbi, 1996] et [Ben Ahmed, 2004].

Le modèle séquentiel décompose l'accident suivant les phases suivantes : préparation du déplacement, conduite normale, rupture, urgence et choc. C'est l'un des modèles les plus utilisés car il aborde la plupart des dimensions de l'accident : étiologie, dynamique et temporelle.

Le modèle de la production de la défaillance humaine permet d'identifier les mécanismes qui sont à l'origine des défaillances des fonctions opératives qui normalement permettent au conducteur de réaliser son activité en s'adaptant à l'environnement de conduite [Van Elslande *et al.*, 1997] (voir également le projet le WP5 du projet européen TRACE⁸¹).

Enfin, on considère le modèle DREAM⁸² qui a pour objectif l'organisation des facteurs qui ont contribué à la réalisation de l'accident analysé. Cette approche, comme celle de Van Elslande, prend en compte les facteurs exogènes à la situation de l'accident. Elle considère en effet des facteurs liés

⁸⁰ STA : Scénario Type d'Accident,

⁸¹ TRACE : Traffic Accident Causation in Europe, <http://www.trace-project.org/>

⁸² DREAM : Driving Reliability and Error Analysis Method

à la formation (apprentissage) ou à d'anciennes expériences de conduite [Wallén Warner *et al.*, 2008].

Nous n'avons pas identifié un modèle unifié pour l'analyse des accidents. Les modèles présentés sont destinés à la description des accidents (le concept STA et le modèle séquentiel) mais aussi à leur compréhension (le modèle séquentiel, modèle de la défaillance humaine, et le modèle DREAM). Cependant, les modèles de compréhension abordent chacun des aspects différents de la modélisation. Le modèle séquentiel traite l'aspect fonctionnel et génétique de l'accident. Le modèle de la défaillance humaine est focalisé sur le facteur humain de l'accident. Enfin, le modèle DREAM considère une compréhension par la causalité (ne prend pas en compte l'émergence).

Nous pensons qu'il est aujourd'hui nécessaire de définir un nouveau modèle permettant d'aborder tous les aspects des accidents ainsi que les différents points de vue de modélisation (associés aux disciplines utilisées en sécurité routière). Ce nouveau modèle devrait être construit soit sur la base des modèles existants soit sur une nouvelle base.

Biais et hypothèses

La réalisation de l'évaluation implique parfois l'utilisation d'hypothèses pour combler le manque d'informations. Il s'agit par exemple de traiter le manque de données liées à un phénomène ou alors le manque de modèles théoriques pour l'explication de phénomène. L'utilisation d'hypothèses nécessite la formulation de limites dans les résultats ainsi que l'identification et la caractérisation des biais éventuellement créés. L'objectif est de réaliser de « bonnes » évaluations dans un contexte que les évaluateurs ne peuvent complètement décrire.

A partir d'une analyse des évaluations réalisées en sécurité routière, nous présentons une liste de quelques cas illustrant les hypothèses et leurs conséquences (voir Tableau D.3). Cette liste est donnée à titre d'exemple et ne postule pas à l'exhaustivité.

Tableau D.3 - Exemples d'hypothèses et de leur conséquence sur l'évaluation

	Description du contexte et de l'Hypothèse	Conséquences sur l'évaluation
Non prise en compte de l'adaptation des conducteurs	<p>L'adaptation du conducteur à une action de sécurité est un élément important à prendre en compte pour l'évolution de l'efficacité de l'action considérée. L'adaptation traduit la prise en compte de l'action de sécurité, ou plus généralement la perception de l'augmentation du niveau de sécurité, dans les comportements des usagers [Kassaagi <i>et al.</i>, 2004]. Ce phénomène reste cependant difficile à identifier et à caractériser même s'il existe quelques éléments de réponse. Par exemple, dans le cas où l'utilisateur n'a pas connaissance ni du fonctionnement, ni même de l'existence de la mesure de sécurité, il ne peut adapter son comportement à cette mesure. Au contraire, dans le cas d'une mesure connue de l'utilisateur, son adaptation est quasiment inévitable, on estime que l'efficacité des actions de sécurité diminue au court du temps [Wilde, 1982] et [Wilde, 1986].</p> <p>Les évaluateurs considèrent dans certains cas qu'il n'y a pas de phénomène d'adaptation.</p>	<p>Les résultats d'évaluation n'ont qu'une valeur limitée dans le temps. Par contre, il est impossible de quantifier cette limite de validité.</p>
On néglige les effets d'autres facteurs ou d'autres stratégies de sécurité	<p>L'évaluation d'une stratégie de sécurité routière (prise individuellement) est difficile à cause du manque de données et d'échantillons trop faibles. L'évaluateur ne peut pas toujours identifier les effets d'une stratégie en interaction avec d'autres et avec un environnement complexe. La trop faible taille des échantillons ne permet pas d'estimer l'effet d'autres facteurs [Page, 2006].</p> <p>L'hypothèse consiste à négliger les stratégies et les facteurs dont les effets pourraient être en interaction avec la stratégie de sécurité évaluée.</p>	<p>Les performances d'une stratégie peuvent être totalement erronées. Exemple dans le cas où une autre stratégie plus efficace a été développée en même temps.</p>
Une stratégie technologique de sécurité est unique	<p>Une stratégie technologique de sécurité est un système qui évolue dans le temps et pour lequel on peut spécifier différentes solutions pour un fonctionnement spécifié par la réglementation. Les différences ne sont pas toujours détectables mais elles peuvent avoir une influence sur le fonctionnement (il y a toujours des intervalles admissibles).</p> <p>L'hypothèse consiste dans ce cas à considérer que tous les stratégies technologiques qui ont la même dénomination ont les mêmes performances.</p>	<p>L'évaluation peut être biaisée lorsque l'échantillon sélectionné contient différentes marques ou différents modèles de la stratégie évaluée.</p>
Non prise en compte des évolutions de l'environnement dans les prédictions	<p>La réalisation d'évaluations telles que celle basées sur des modèles de prédiction nécessitent la prise en compte de facteurs environnementaux qui peuvent avoir des influences sur la survenue des accidents. La complexité de l'environnement et le grand nombre de caractéristiques rendent l'identification et la prise en compte dans les modèles complexes [Hirst <i>et al.</i>, 2004] et [Hirst <i>et al.</i>, 2004].</p> <p>L'hypothèse est de négliger les évolutions de l'environnement dans les prédictions. Les prédictions dans les évaluations a priori sont réalisées sur la base des accidents analysés sans prendre en compte de potentiels changements de l'environnement.</p>	<p>La validité des résultats d'évaluation a priori dépend donc de l'évolution de l'environnement. Une forte évolution peut conduire à des résultats inutilisables.</p>

Document 3 - Formulaire de la requête d'évaluation

La demande d'évaluation provenant d'un commanditaire (partie prenante) est formalisée par l'évaluateur sous forme d'une requête d'évaluation. L'objectif est de recueillir les informations pertinentes concernant la demande d'évaluation et le commanditaire (son activité, son métier, ses objectifs, etc.) pour la réalisation de l'évaluation. Afin de guider l'évaluateur dans la réalisation de cette tâche nous proposons une structure générique d'une requête. Le résultat est un formulaire que l'évaluateur utilise pour réaliser son entretien avec le commanditaire. Ce formulaire est retranscrit sous forme d'un modèle conceptuel afin de rendre possible son utilisation dans un outil opérationnel d'aide à la réalisation des évaluations. Nous présentons par la suite le formulaire ainsi que le modèle conceptuel.

Description de la partie prenante émettrice de la demande d'évaluation (référence à la classe « *partie prenante* ») : il s'agit de recueillir des informations qui caractérisent une partie prenante. Définir si c'est un « *acteur* » ou un « *spectateur* » de la sécurité routière. Lorsqu'une partie prenante exprime une demande, elle est commanditaire de l'évaluation. Ensuite, il faut renseigner sa disponibilité par rapport à la réalisation de l'évaluation. Est elle disponible s'il ya des besoins d'informations complémentaires. Enfin, il s'agit de recueillir des informations sur son activité. Quelle est l'organisation pour laquelle elle travaille ? Qu'elle est son rôle par rapport à cette organisation (chercheur, ingénieur, etc.) Et quel est son métier (s'exprime en termes de disciplines telles que l'ergonomie, la mécanique, l'électronique, l'accidentologie, etc.) ?

Description du pourquoi de la demande d'évaluation (référence à l'attribut : « *objectif_de_l'évaluation* ») : les résultats d'une évaluation permettent de répondre à un objectifs (ou plusieurs). L'identification de ces objectifs est donc primordial afin d'orienter le travail de l'évaluateur.

Description de la stratégie de sécurité à évaluer (normalement c'est stratégie de sécurité routière évaluée) (référence à l'attribut : « *stratégie_de_sécurité* ») : fournir une description générale de la stratégie de sécurité qui doit être évaluée. Cette première description est complétée par quatre autres champs qui sont focalisés sur certains aspects de description.

Liste des composants de la stratégie de sécurité (référence à l'attribut : « *composant_action_de_sécurité* ») : identifier les connaissances qui permettent de construire un modèle ontologique de la stratégie de sécurité évaluée. Il s'agit de décrire tous les éléments qui la constituent.

Description du fonctionnement de la stratégie de sécurité (référence à l'attribut : « *fonctionnement_action_de_sécurité* ») : identifier les connaissances utilisées à la construction d'un modèle fonctionnel de la stratégie de sécurité évaluée.

Description des aspects génétiques de la stratégie de sécurité (référence à l'attribut : « *évolution_action_de_sécurité* ») : identifier des connaissances qui décrivent comme la stratégie de sécurité va évoluer dans le temps. Il s'agit par exemple de connaissances sur

son déploiement (taux d'utilisation), son (réduction des coûts de production), sa structure ontologique, son fonctionnement, etc.

Description de la (des) finalité(s) de la stratégie de sécurité (référence à l'attribut : « *finalité_action_de_sécurité* ») : identifier des connaissances qui précisent à quoi sert la stratégie de sécurité.

Description du contexte géographique de l'évaluation (référence à l'attribut : « *contexte_géographique* ») : l'évaluation est réalisée dans un pays/région/ville/zone/etc. donné(e) et pour une population donnée. Ce champ a pour objectif de recueillir ce type d'information.

Description du contexte temporelle de l'évaluation (référence à l'attribut : « *contexte_temporelle* ») : l'évaluation porte sur une période de temps donné. Il s'agit d'identifier les éléments permettant de caractériser cet intervalle de temps.

Autres éléments qui complètent le contexte d'évaluation (référence à l'attribut : « *contexte_général_evaluation* ») : la réalisation de l'évaluation prend place dans un contexte qu'il est nécessaire de caractériser. Il s'agit de venir compléter les informations sur la géographie et la temporalité de l'évaluation. Recueillir par exemple des informations sur l'environnement de la stratégie de sécurité (l'infrastructure) ou encore sur les usagers de la route.

Liste des hypothèses spécifiées par le commanditaire (référence à l'attribut : « *hypothèse* ») : il peut s'agir d'hypothèses sur le fonctionnement de la stratégie de sécurité, sur l'environnement, etc.

Planning de réalisation de l'évaluation désirée par le commanditaire (référence à l'attribut : « *planning* ») : le commanditaire précise à quel moment il souhaite recevoir les résultats de l'évaluation.

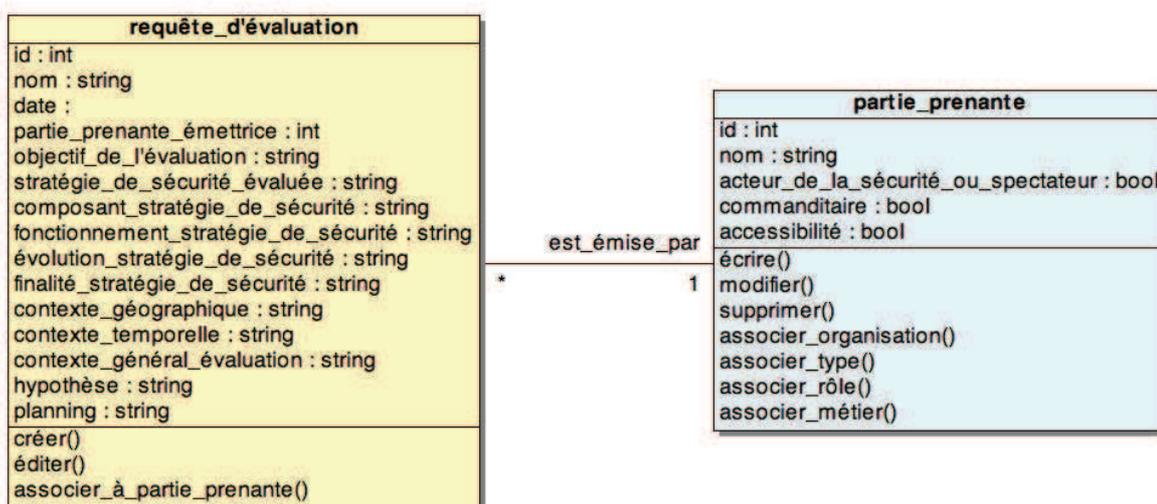


Figure D.1 - Modèle conceptuel des classes « requête d'évaluation » et « partie prenante »