

*Groupement d'Intérêt Scientifique*



**GIS MR-GENCI**  
**RAPPORT SCIENTIFIQUE**

**DECEMBRE 2004**

CE RAPPORT, REDIGE SOUS LA RESPONSABILITE DE

DENYS BREYSSE, DIRECTEUR DU G.I.S. ET DE  
DANIEL BOISSIER, PRESIDENT DU CONSEIL SCIENTIFIQUE DU G.I.S.

AVEC LA CONTRIBUTION DE L'ENSEMBLE  
DES MEMBRES DU BUREAU ET DES ANIMATEURS DES THEMES,

FAIT ETAT DES RECHERCHES COLLECTIVES CONDUITES AU SEIN DU G.I.S. EN 2003 ET 2004  
ET EBAUCHE LE PROJET SCIENTIFIQUE POUR LES FUTURES ACTIONS DU GROUPEMENT.

<b>TABLE DES MATIERES :</b>
-----------------------------

INTRODUCTION : RAISONS DE LA CREATION DU G.I.S. ET PERIMETRE DE REFLEXION	P. 3
DEFINITION DES ACTIONS THEMATIQUES (2003-2004) ET SYNTHESE DES TRAVAUX	P. 5
THEME 1 : PERCEPTION ET REPRESENTATION DES RISQUES	P. 7
THEME 2 : THESAUURISATION ET DIFFUSION DE LA CONNAISSANCE	P. 12
THEME 3 : APPROCHE GLOBALE DU RISQUE DE PROJET	P. 15
THEME 4 : RETOUR D'EXPERIENCE : DIAGNOSTIC, SURETE, RISQUE ET GESTION DES OUVRAGES ET DES SITES	P. 19
THEME 5 : STRATEGIE DE PREVENTION DES RISQUES : COMPLEXITE, ORGANISATION ET DECISION	P. 23
PROJET SCIENTIFIQUE ET PISTES D'ACTION, PERSPECTIVES	P. 34
PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS DU GIS	P. 39
<b>ANNEXES</b>	
ANNEXE 1. DOSSIER D'INFORMATION (MONTAGE DU G.I.S.)	P. 40
ANNEXES 2 A 6. RAPPORTS SCIENTIFIQUES DETAILLES PAR THEME	P. 43
ANNEXE 7. COMPOSITION DES ORGANES DIRECTEURS DU GIS	P. 169

INTRODUCTION : RAISONS DE LA CREATION DU G.I.S. ET PERIMETRE DE REFLEXION
---

Depuis quelques années, les questions relatives au risque et à la sécurité en génie civil reviennent périodiquement à la une de l'actualité, le plus souvent à la suite d'accidents spectaculaires qui interpellent les citoyens et les pouvoirs publics. Ces manifestations épisodiques ne constituent que la partie la plus visible d'un mouvement de fond. La prise en compte des risques dans toutes les phases de la vie des ouvrages devient une question centrale, à la fois d'un point de vue scientifique, technologique et économique.

Sur un plan scientifique, le rapport de l'Académie des Sciences de 1996 identifiait déjà « les risques et la sécurité des grands ouvrages » comme une question sensible, vis-à-vis de laquelle la situation était qualifiée de préoccupante<sup>1</sup>.

Sur le plan économique, les enjeux sont importants, aussi bien du fait des coûts des risques (les questions posées par l'indemnisation des victimes déclarées des sinistres dus au retrait et gonflement des argiles ont reçu ces derniers mois un large écho et conduisent à s'interroger sur la manière dont les risques sont supportés collectivement), que du fait des gains potentiels d'une gestion optimale d'un patrimoine bâti vieillissant, sous réserve que l'on puisse apprécier sereinement et justement les risques attachés à chaque décision.

Sur le plan technologique, si l'image du génie civil peut souffrir de défaillances spectaculaires et si le recours non raisonné au « principe de précaution » peut être un frein à l'innovation, les risques sont aussi un facteur potentiel de développement, dans les domaines de la métrologie, de la surveillance, des études d'impact...

Les acteurs du génie civil se sont mobilisés collectivement à plusieurs reprises ces dernières années. La mise en place de structures régionales consacrées aux risques (G.I.S.O.S. consacré aux risques induits par les cavités souterraines dans l'Est de la France, Fédération de Recherche R.N.V.O. pour les risques naturels en région Rhône-Alpes par exemple) est un indice de l'ancrage territorial fort de ces questions.

Un colloque national « Risque et génie civil » fut organisé à Paris en novembre 2000 par le « Groupement français des Associations scientifiques et techniques du Génie Civil » à la suite de travaux en ateliers menés pendant deux ans. Les actes de ce colloque ont été publiés aux Presses de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. Un colloque international fut aussi organisé, sur le même thème, par l'AIPC en mars 2001 à Malte. Par l'intérêt qu'elles suscitèrent, ces manifestations démontrèrent que les problèmes de **maîtrise des risques subis et induits par les ouvrages** et de choix de niveaux de fiabilité pour les constructions étaient toujours au centre des préoccupations des ingénieurs.

A la suite de ces manifestations, une équipe s'est réunie à plusieurs reprises afin de préciser quel serait le cadre le mieux adapté à la poursuite des réflexions et des recherches dans ce domaine. Au fil des discussions, les missions de formation et d'information sont, elles aussi, apparues essentielles, ces questions ne pouvant se réduire aux seules dimensions

---

<sup>1</sup> Les grands ouvrages de génie civil, Note de synthèse, Rapport n° 15, CADAS, Ed. Tec et Doc, 1996.

techniques (la faible culture du risque, en particulier chez les maîtres d'ouvrages, a été relevée à plusieurs reprises).

Pour donner un prolongement opérationnel au colloque national « Risque et génie civil », il a été décidé de mettre en place un Groupement d'Intérêt Scientifique (GIS), créé le 16 décembre 2003, avec les principaux objectifs suivants :

- **mettre en place un « observatoire » des risques** en relation avec les questions de sécurité des constructions ;
- **développer** des actions pédagogiques et de **diffusion des connaissances** auprès des professionnels en activité ou en formation ;
- favoriser le **développement de méthodes d'analyse** et de traitement des risques en génie civil, débouchant sur la mise au point d'outils d'aide à la décision et permettant d'affiner les règles de conception et de calcul des ouvrages ;
- **sensibiliser** l'ensemble des acteurs (professionnels, décideurs, usagers...) à la **problématique de la sécurité** des ouvrages et des sites et faciliter une approche raisonnée de ces problèmes ;
- **promouvoir les travaux** d'acteurs (entreprises, collectivités, associations) dans le domaine concerné et être un **lieu de rencontres entre chercheurs et « commanditaires de recherche »** ;
- **constituer un lieu privilégié d'échanges** d'idées et de formulation de propositions au niveau international.

L'Annexe 1 reproduit le dossier d'information diffusé aux partenaires potentiels du G.I.S. lors de son montage.

Un tel Groupement n'a pas vocation à se substituer aux acteurs qui travaillent déjà sur les Risques, soit à l'échelon régional, soit sur des thématiques précises (mouvements de terrains, inondations). Il ne saurait non plus être redondant avec des structures déjà existantes, tel le G.I.S. Risques Industriels et Gestion de Crise, qui privilégie les dimensions relevant des S.H.S. Enfin, il ne souhaite pas « parasiter » l'action d'associations ou de sociétés savantes déjà actives sur le sujet.

Le G.I.S. doit être le cadre d'une réflexion nationale et d'actions sur les Risques en Génie Civil afin d'aborder ces sujets, pour lesquels la demande sociale est aujourd'hui croissante, de façon transversale et pluridisciplinaire. Une telle réflexion facilitera la naissance d'une culture du risque (ou de la sécurité) chez les techniciens, les décideurs et l'administration. On pourrait par exemple déboucher sur l'existence d'ingénieurs-juristes ou de techniciens du risque. Des contacts au niveau international viendront à court terme prolonger l'action entreprise dans un cadre national.

Pour que ce Groupement puisse atteindre ses objectifs, il conviendra de le doter de moyens destinés :

- à la diffusion des connaissances sous diverses formes (site Internet, bases de données, ouvrages pédagogiques, revue, actions de formation...),
- au financement d'études spécifiques,
- à la publication de rapports,
- à la participation à des actions internationales.

DEFINITION DES ACTIONS THEMATIQUES ET SYNTHESE DES TRAVAUX
--

Dans un premier temps, le G.I.S. a bénéficié d'un soutien financier de la DRAST (RGC&U) pour rédiger une première synthèse collective sur les thèmes qui semblaient prioritaires. Cinq thèmes ont été définis et des animateurs ont été chargés de coordonner la réflexion collective, conduisant à la rédaction des synthèses thématiques. Ces thèmes sont :

**THEME 1 – PERCEPTION ET REPRESENTATION DES RISQUES**

ANIMATION : CLAIRE ARNAL, BERNADETTE DEVANSSAY

**THEME 2 – THESAURISATION ET DIFFUSION DE LA CONNAISSANCE  
BASES DE DONNEES – ENSEIGNEMENT/PEDAGOGIE DU RISQUE**

ANIMATION : RENE HAROUMI, FARIMAH MASROURI

**THEME 3 – APPROCHE GLOBALE DES RISQUES DE PROJET**

ANIMATION : CHRISTIAN ALTIER, BERTRAND MUNIER

**THEME 4 – RETOUR D'EXPERIENCE :  
DIAGNOSTIC, SURETE, RISQUE ET GESTION DES OUVRAGES ET DES SITES**

ANIMATION : DANIEL BOISSIER, LAURENT PEYRAS

**THEME 5 – STRATEGIES DE PREVENTION DES RISQUES  
COMPLEXITE, ORGANISATION ET DECISION**

ANIMATION : CHRISTIAN CREMONA, DENYS BREYSSE, VINCENT MELACCA

La réflexion au sein de chaque thème a été conduite de manière indépendante, sous la coordination de la direction du G.I.S. Plusieurs réunions collectives ont permis de faire le point de l'avancement des réflexions.

Le tableau ci-dessous résume l'implication des partenaires du G.I.S. et d'experts extérieurs aux réflexions menées dans chaque thème. Les pages suivantes regroupent, sous forme de synthèse, la production des thèmes. Les rapports complets sont fournis en Annexe.

	1	2	3	4	5
CERIB				+	
CNISF		<b>x</b>			
Coyne et Bellier			+		
INPL – LAEGO		<b>x</b>			
Sector			+		
SMABTP	+				<b>x</b>
SNCF			<b>x</b>	+	
Univ. Blaise Pascal, LERMES		+		<b>x</b>	
Univ. Bordeaux I, CDGA	+	+	+		<b>x</b>
Univ. Nantes					+
Univ. Paris 5 , Institut de Psychologie	<b>x</b>				
Univ. de Savoie - LOCIE				+	
BRGM	<b>x</b>				
ENSAM – GRID			<b>x</b>		
Cemagref				<b>x</b>	
LCPC				+	<b>x</b>
Univ. Marne la Vallée				+	
			AFPCN, CSTB	CSTB	Solen, Arcadis, MRN

## Thème 1

# PERCEPTION ET REPRESENTATION DES RISQUES

*Le travail de ce Groupe a été coordonné par Mme Claire Arnal (BRGM) et Bernadette Devanssay (Laboratoire de Psychologie Environnementale, Univ. Paris 5).*

### **Rappel des objectifs**

Les problématiques « risques » (naturels, industriels, sanitaires) ont été traitées par de nombreuses disciplines qui se sont forgées leur propre vocabulaire et leurs propres concepts à partir de leurs méthodologies de travail et de leurs objectifs. On constate une véritable difficulté de compréhension des différents acteurs sur ce que recouvrent des termes similaires utilisés dans des contextes différents. Chaque discipline aujourd'hui travaille en utilisant ses propres référents; ces termes ne sont véritablement compris que par les initiés ; et chaque initié se plaint de l'erreur de terminologie créée par son voisin.

D'autre part, on sait que l'évaluation du risque (aléa x vulnérabilité) dépend de la représentation individuelle et collective de la menace ; ces représentations sont aujourd'hui peu ou mal explorées. Les mesures de prise en compte du risque dépendent cependant naturellement de ces représentations.

### **Les travaux proposés**

Deux axes de travail ont été définis par le groupe :

- Exploration des significations attribuées aux principaux concepts selon les différentes professions du Génie Civil.
- Etude des perceptions et de l'acceptation des risques dans les professions du Génie Civil et comparaison avec des échantillons de population.

Le premier objectif n'est pas tellement de clarifier ou de « normaliser » les vocabulaires mais de faire échanger entre les différents partenaires de la gestion des risques leurs interprétations de ces termes.

Un des enjeux de la démarche est de faire prendre conscience de l'importance des pré-requis recouverts par le vocable et de la nécessité, pour pouvoir communiquer, à la fois de comprendre ce que soi-même on implique en utilisant le terme, et ce à quoi nos interlocuteurs se réfèrent.

### **Les actions réalisées en 2003-2004**

#### a) Elaboration des outils de mesure de la connaissance des vocabulaires

Plusieurs types de questionnaires ont été élaborés à partir de différentes consultations et ont fait l'objet de pré-tests ; ils comportent tous deux parties : *une partie générale* visant à évaluer la connaissance des principaux termes utilisés et *une partie thématique*, selon les risques, en

fonction des interlocuteurs concernés : inondations, mouvements de terrains, risque sismique...

#### b) Tests des questionnaires

Plusieurs séries de questionnaires ont été utilisées pour réaliser le pré test, auprès de différents publics : étudiants en fin d'études scientifiques dans le domaine du génie civil, professionnels de la géotechnique, étudiants architectes de quatrième année.

Enfin, une dernière série de questionnements est en cours auprès des différents professionnels impliqués dans l'acte de construire, depuis les promoteurs jusqu'aux collectivités locales.

#### c) Analyse

L'analyse des deux premiers pré-tests a été réalisée au Laboratoire de Psychologie Environnementale. Nous en présentons ici les résultats majeurs. L'Annexe 2 fournit plus de détails.

### ***Aperçu de l'analyse des réponses aux questionnaires***

#### **Pourquoi s'interroger sur les représentations sociales du risque des acteurs du génie civil ?**

Le risque est un terme ambigu et évolutif selon les sociétés ; il est différemment interprété selon les activités des différents groupes de professionnels. Pour qualifier ces interprétations de la réalité, on parle en psychologie sociale, depuis Moscovici (1961), de « représentations sociales ». L'exploration et la connaissance de la « vision du monde » que les individus ou les groupes portent en eux et utilisent pour agir ou prendre position est reconnue comme indispensable pour comprendre la dynamique des interactions sociales et éclairer les déterminants des pratiques sociales (C. Abric). Pour la psychologie sociale, il n'existe pas une réalité objective mais la théorie pose que « *toute réalité est reconstruite par l'individu ou le groupe, intégrée dans son système de valeur, dépendant de son histoire et du contexte social et idéologique qui l'environne* ». On définit la représentation comme une forme de connaissance socialement élaborée et partagée, ayant une visée pratique et concourant à la construction d'une réalité commune à un ensemble social (Jodelet).

Explorer la définition du risque des différents acteurs du génie civil apparaît donc comme une première étape pour la compréhension des attitudes face aux prises de risque de ces acteurs. Il s'agit d'étudier une référence implicite, spontanée et souvent élaborée de façon peu consciente, de ce que les différents acteurs du génie civil mettent sous la terminologie actuelle concernant les risques ; les vocables principaux sont peu nombreux au demeurant et devraient permettre une mise en commun rapide des concepts utilisés.

Les méthodologies des sciences sociales, utilisées pour ce type d'exploration, sont nombreuses. On a repris dans la première question la méthode la plus simple qui procède par associations d'idées. On a donc demandé de « donner les quatre premiers mots qui viennent à l'esprit spontanément lorsqu'on évoque le mot risque ».

Dans les questionnaires destinés aux architectes, la question a été reformulée de la manière suivante : « *Selon vous quels sont les termes liés aux risques spécifiques à votre métier ?* ». L'impact de cette formulation est évident : alors que la première formulation induit des termes comme danger, menace, et renvoient à une gamme de situations étendue et diverse, la seconde

formulation fait apparaître des termes comme règlements, pollution, terrorisme, etc. ; on est tout de suite dans du circonstanciel et du professionnel et non plus dans du conceptuel.

Il faudra donc, dans une enquête plus approfondie, choisir une formulation et s'y tenir, en sachant que cette formulation implique des réponses très différenciées.

Selon la méthode utilisée (Michel Louis Rouquette), le classement des termes recueillis se fait en fonction de quatre catégories : *le lexique, la praxie, l'attribution et les conséquences*.

- Le « lexique » permet de classer les vocables utilisés par les interviewés en trois catégories : termes synonymes, termes définitoires et termes antagonistes.
- La « praxie » comporte quatre sous catégories : les acteurs, les actions, les objets et les outils.
- On parle d' « attribution » pour désigner les qualifications qui accompagnent la représentation. L'attribution comporte deux catégories : la caractérisation et le jugement.
- Les « conséquences » du risque s'analysent le plus souvent en termes de coûts et dommages.

Les représentations du risque des groupes étudiants et professionnels paraissent assez contrastées. Le pré test met en évidence l'impact de la formulation des questions, d'une part, mais aussi la sensibilité au terme « risque » et ses nombreuses liaisons dans les milieux professionnels.

### **Les enjeux soumis aux risques**

Les critères économiques et techniques sont au centre des préoccupations des personnes interrogées. La notion d'enjeux telle que l'ont développée les géographes (d'Ercolle et Pigeon, Université de Chambéry) paraît très mal acquise. Pour ces auteurs, la notion d'enjeux se fait en référence à la définition du risque donnée par Frisch dans les années 1980, à savoir les éléments qui permettent à une société de faire face à une situation de crise : bâtiments administratifs où se prennent les décisions opérationnelles, casernes, hôpitaux, réseaux, etc. A cela on peut ajouter les bâtiments constituant le patrimoine local (cathédrale, musées, etc). La théorie actuelle insiste sur la nécessité de *la dispersion des enjeux* sur un territoire pour éviter qu'un seul événement ne réduise à l'impuissance la totalité des centres décisionnels, ce que l'on a vu lors du séisme de Kobé, au Japon, par exemple.

### **Les aléas**

Chez les étudiants le terme « aléa » est pris dans son sens littéral et ne renvoie pas ou rarement à la notion anglo-saxonne de « hazard », souvent traduite par « événement naturel », qui est maintenant admise de façon générale dans les milieux traitant du risque (voir les définitions proposées en Annexe 2-B)<sup>2</sup>.

Chez les professionnels on trouve deux définitions particulièrement précises : « l'événement potentiel naturel ou d'origine anthropique » ; une définition plus élaborée : « configuration naturelle exceptionnelle non maîtrisée par les moyens de reconnaissance mis en œuvre ».

---

<sup>2</sup> Le vocable d'aléa est absent du vocabulaire anglo-saxon. Il est défini au plan international (terminologie de l'ONU sur les risques, publiée en 2002 dans « Living at Risk », Genève) comme « un événement physique potentiellement dommageable, un phénomène et/ou une activité humaine, qui peut être la cause de pertes de vies ou de blessés, de dommages aux biens, de dysfonctionnement social et économique ou de dégradation environnementale [...les aléas...] peuvent inclure des conditions latentes susceptibles de représenter de futures menaces. ». L'aléa est donc relatif à la menace, au danger, avéré ou potentiel. Il constitue donc la source du risque.

C'est à partir de l'aléa que chez les professionnels on définit « une zone à risque », ce qui resitue la question dans le domaine assurantiel.

### **Les probabilités**

Pour les étudiants, la notion de probabilité a donné lieu à de nombreux développements : elle est l'instrument de mesure du risque, et permet de classer les risques, de les qualifier de définir des niveaux, de décider des mesures à prendre et des moyens à mettre en œuvre.

Définie comme *la fréquence* de réalisation d'un risque, c'est en même temps une notion « traître et relative », disent les interviewés, parce que souvent *subjective* ; elle doit compenser les lacunes des connaissances qui ne permettent pas une prévision certaine ; c'est une incertitude.

On retrouve la même dualité chez les professionnels :

- d'une part, la probabilité est une mesure du risque, c'est une donnée statistique fondée sur l'observation de fréquences ; elle est l'outil essentiel de la prise de mesures ou de la définition de moyens ; en ce sens elle permet une analyse rationnelle là où souvent le risque déclenche des inquiétudes infondées relevant de rumeurs.

- d'autre part, c'est pour les professionnels également une notion *traître, insuffisante et suspecte* : « cela n'arrive qu'une fois sur un million et pourtant cela s'est produit ».

Les termes plus techniques (vulnérabilité, période de retour) semblent assez éloignés des préoccupations des professionnels qui n'en donnent souvent que des définitions approximatives.

### **Parle-t-on trop des risques aujourd'hui ?**

L'objectif de cette question est de mesurer la visibilité perçue du thème risques dans l'information générale du public. On constate une différence importante entre les réponses données par les étudiants et celles des professionnels :

La majorité des étudiants estime *qu'on n'en parle pas trop*. L'argumentaire développé fait état d'un état d'ignorance du public face aux risques auxquels il peut être exposé ; il y a un manque d'information lié à la crainte de créer de la panique, mais aussi à des enjeux politiques ou économiques. L'information sur les risques a tendance à se faire postérieurement à sa réalisation et non pas à titre préventif.

Les professionnels sont plus partagés, l'argumentaire reprend l'idée d'une ignorance des risques liée à la complexité de la société actuelle. Mais cette ignorance est aussi *une ignorance construite* et volontaire pour éviter de freiner des initiatives et *mettre à couvert la responsabilité* de certains acteurs. L'idée force est que la connaissance des risques peut seule en permettre la *maîtrise*. Il s'agit là d'une position rationaliste dont on sait depuis les travaux de Slovic et Sjöberg, combien elle est loin de la réalité. Connaître les risques n'est jamais suffisant pour adopter les conduites les plus appropriées.

### **Peut-on dire toute la vérité sur les différents risques que nous connaissons ?**

Les réponses sont partagées :

- l'effet déstabilisant de la vérité qui est mis en avant le plus fréquemment, liée à l'effet pervers que pourrait avoir la vérité. Le second argument est lié à la relativité des connaissances ; il permet de mettre en avant le rôle des sachants (experts) vis-à-vis de la population à laquelle une information « modérée » devrait être donnée.

- à l'inverse, dire la vérité est une *question de démocratie* qui exige de la transparence. Une décision doit être motivée de préférence par les sachants. La prise de risque doit se faire en connaissance de cause. Si la préparation du public et sa compréhension des problèmes n'est pas suffisante, le premier devoir des sachants serait de former le public.

Ainsi, l'information la meilleure déterminerait les comportements les mieux adaptés. On sait combien cette position est illusoire. Depuis des années toutes les enquêtes montrent que ce n'est pas la connaissance du risque qui entraîne des comportements adaptés mais que c'est l'évaluation subjective des conséquences pour soi-même qui est à l'origine de la prise de mesures de prévention à condition que les moyens de se protéger soient considérés comme disponibles et accessibles.

### **Conclusions et perspectives**

Une discussion sur les objectifs de l'enquête devrait impliquer l'ensemble des partenaires du GIS : souhaite-t-on s'accorder sur *une* terminologie ou s'interroge-t-on sur ce qu'évoque cette terminologie pour les différents acteurs du Génie Civil ?

Les différents questionnaires utilisés ont montré à la fois leurs limites, l'impact de la formulation des questions sur les résultats recueillis, et néanmoins leurs possibilités d'utilisation dans un double objectif : explorer les représentations du risque des acteurs du génie civil, et mettre en évidence des acceptions communes d'une certaine terminologie.

Par ailleurs un listing des cibles potentielles pour mener à bien l'enquête a été partiellement réalisé<sup>3</sup>. Une série d'entretiens menés sur un panel représentatif serait susceptible d'affiner nos connaissances et, dans un second temps, de mieux appréhender la manière dont les acteurs perçoivent les risques conditionne leurs attitudes, dont on sait qu'elles conditionnent les risques. Des retombées immédiates pour les préoccupations affichées par le Thème 3 (risques de projets) et par le Thème 5 (relation entre acteurs et sinistralité).

---

<sup>3</sup> Les cibles peuvent être définies à partir d'une analyse du champ que constitue le génie civil et des professions qu'il concerne :

(a) Quels sont les métiers du génie civil et comment les classer ?

(b) Type d'organisation et type d'activité exercée dans l'organisation

(c) Type de risques auxquels ils sont amenés à s'intéresser : naturels, industriels, technologiques, biologiques, sanitaires, terrorisme...

(d) Thèmes d'études : études de sols, études de structures, études des systèmes (réseaux), concepteurs, aménageurs, designers.

## Thème 2

### THESAURISATION ET DIFFUSION DE LA CONNAISSANCE

BASES DE DONNÉES – ENSEIGNEMENT/PEDAGOGIE DU RISQUE

*Le travail de ce Groupe a été coordonné par  
Mme Farimah Masrouri (LAEGO, Nancy) et M. René Harouimi (CNISF).*

#### **Problématique – contexte - enjeux**

Une composante fondamentale de la maîtrise des risques est certainement l'enseignement et la pédagogie des risques. Des formations (initiale et continue) doivent être organisées en ayant en vue l'acquisition méthodique d'une culture du risque autour de ce que l'on peut appeler un « saut technologique » ou « saut culturel ».

Enseignement, pédagogie et diffusion des connaissances supposent que ces connaissances soient disponibles, reconnues et *enseignables*. Ce qui caractérise la difficulté d'ordonner ces connaissances, c'est la complexité, l'interaction des sous-systèmes entre eux. Ces interactions soulignent la nécessité d'études transdisciplinaires, auxquelles les acteurs du génie civil ne sont pas habitués, car il ne s'agit plus de technique pure, mais de systèmes socio-techniques, c'est-à-dire concernant des systèmes techniques opérés par des organisations humaines. Il faut alors aborder ces thèmes avec humilité et avec la volonté de définir les relations hiérarchiques entre les divers acteurs matériels ou humains. C'est donc avec un esprit d'ouverture et en pratiquant le questionnement, que peut être construit, à partir d'un présent imparfait, le savoir *enseignable*.

Il faut attacher également une grande importance à la mémoire (événements inscrits au patrimoine des risques) et au retour d'expérience. Les événements ne doivent pas rester diffus, mais s'inscrire dans une histoire. Organiser le retour d'expérience, comprendre les accidents et en tirer des lois est cependant la clé d'un progrès nécessaire. Comprendre cette histoire permettra de l'enseigner.

#### **Préoccupations et besoins scientifiques**

« Former et se former : qui ? à quoi ? où ? quand ? quelles portées et quelles limites ? et pas seulement former comment ? », voilà des enjeux forts, qui procèdent nécessairement d'une remise en cause, pour bâtir quelque chose d'innovant.

Cependant, nous ne partons pas de rien, mais d'un "présent imparfait". Nous savons qu'il n'est pas possible d'être exhaustif, même dans des filières spécialisées. Ce qui nous semble important, c'est de disposer d'un tronc commun méthodologique de culture du risque et d'appréhension des problèmes dans le contexte global où ils se situent (étude systémique).

### **Les actions réalisées en 2003-2004**

En matière de thésaurisation de la connaissance, le premier travail a été de faire un état des lieux et d'établir un inventaire des travaux disponibles et de leur localisation, afin de profiter de l'expérience existante dans ce domaine. Les informations recueillies seront autant que possible mises en forme selon un canevas-type, avec un indexage par mots-clés. Dans le domaine de la pédagogie un état des lieux a été effectué. Il exploite une enquête, concernant les cours dans le domaine de Gestion des Risques, auprès des seuls établissements dédiés au Génie Civil en France.

Deux ateliers dédiés aux Risques en juin 2003 à La Rochelle et en juin 2004 à Marne-la-Vallée, ont été organisés parallèlement aux Rencontres de l'AUGC. Ces réunions ont été le lieu de fructueux échanges avec les collègues universitaires.

En 2004, un cours (figure 1) permettant d'acquérir les notions nécessaires dans ce domaine a été mis en place, il peut être utilisé comme support en formation initiale ou continue.



Figure 1 – Cours multimédia sur la Gestion des Risques

Un état des lieux des actions entreprises à l'échelle internationale (principalement dans les pays anglo-saxons) sur l'utilisation du retour d'expérience pour l'enseignement des risques, et plus largement pour l'enseignement en génie civil a été entrepris.

### ***Propositions d'actions***

Le squelette du document pédagogique présenté à la figure 1 peut être complété, modifié et exploité comme document de base par l'ensemble des intervenants du GIS MR GenCi. **On pourrait ainsi produire un outil collectif commun, progressivement enrichi, à l'harmonisation et à la cohérence duquel le GIS veillerait, en apportant son label.**

La préparation de documents synthétiques sur différents thèmes liés à la Gestion des Risques ainsi que la mise en place des documents multi-medias pour permettre une pédagogie en ligne, sont d'autres aspects fondamentaux du thème 2.

En 2004-05, nous allons mettre l'accent sur l'organisation des journées de formation continue (1 à 3 jours) aussi bien pour les formateurs que pour les ingénieurs du monde professionnel. Ces journées mobiliseraient l'ensemble des forces actives du GIS.

Un autre projet important serait de proposer un Master de Gestion des Risques en Génie Civil. Ce Master pourrait être organisé de manière à fonctionner en deuxième année de Master (c'est-à-dire en cinquième année d'études supérieures). Ce projet pourrait se mettre en place à moyen terme, après discussion avec tous les membres du GIS et concertation du monde professionnel et des collègues universitaire.

### Thème 3

## APPROCHE GLOBALE DES RISQUES DE PROJETS

*Ce texte a été élaboré avec la participation des personnes suivantes*

- ☞ *M. Carrère (Coyne et Bellier)*
- ☞ *M. Delmotte (CSTB)*
- ☞ *M. Deneufbourg (AFPCN)*
- ☞ *M. Denis (Université de Bordeaux)*
- ☞ *M. Barbet (SECTOR)*
- ☞ *M. Munier (ENSAM/ESTP)*
- ☞ *M. Altier (SNCF)*

### **INTRODUCTION**

Les financeurs, donneurs d'ordre et maître d'ouvrage sont de plus en plus confrontés à des contraintes de réalisation d'équipements aux performances optimisées et aux meilleurs coûts et délais. Pour ce faire ils mettent en place des organisations par projet où les méthodes de management de projet se superposent aux méthodes courantes de gestion.

Ces organisations ont des effets immédiats sur la gestion des risques de l'entreprise et méritent que l'on en développe les concepts et les techniques qui semblent les plus appropriés.

Dans le domaine du risque la préoccupation essentielle est la prévention plutôt que l'action curative une fois le risque avéré. Il s'agit donc d'anticiper au maximum, de mesurer en permanence l'efficacité de cette anticipation et donc de limiter au maximum les conséquences du risque avéré. Cette efficacité passe en particulier par une **estimation** (processus d'affectation de valeurs de probabilité et de gravité) et une **évaluation** (processus de hiérarchisation et de comparaison) des différents risques en cause, et ceci après avoir procédé à leur **classification et identification**.

### **CLASSIFICATION ET IDENTIFICATION DES RISQUES**

- La classification des risques peut se faire par **nature** (environnement naturel, limites des connaissances techniques, facteurs organisationnels et humains), par **chronologie** ou par **acteurs** (Pouvoirs publics, Financeurs, Maîtres d'ouvrage, Concepteurs, Entreprises et Fournisseurs, Assureurs, Exploitants et utilisateurs)
- Pour des projets identiques (même projet réalisé dans le même environnement) ou similaires (par exemple un programme de construction de centrales nucléaires)

représentant un même projet réalisé dans des environnements différents), on peut considérer sans faire appel aux lois des grands nombres et après analyse qu'un événement qui se répète plusieurs fois mérite d'être identifié comme risque potentiel et traité en tant que tel. C'est **l'identification par l'expérience**

- On peut également faire appel à l'identification systémique basée sur :
  - Une approche **inductive** fondée sur des questions du type : **qu'est ce qui se passe si ?** avec 2 étapes distinctes :
    - Première étape : caractériser ce que l'on fait ou ce que l'on veut faire, et comment on le fait ou comment on va le faire, avec quels moyens et à quels niveaux de performance  
Pour aider à atteindre cette première étape ont été développées des méthodes dites **d'analyse fonctionnelle** avec différentes variantes de mise en œuvre .
    - Deuxième étape : identifier de la façon la plus exhaustive possible, et sans a priori, l'ensemble des événements redoutés susceptibles d'affecter les projets  
Là encore des méthodes ont été développées pour supporter et aider la démarche : principalement **l'Analyse Préliminaire des Risques (APR) et l'AMDEC système**
  - Une approche **déductive** fondée sur la question : **qu'est ce qui peut être à l'origine de ?** : la méthode part d'un événement redouté identifié par ailleurs (par ex. APR, retour d'expérience) : événement de tête de l'arbre (en anglais top event). Elle consiste ensuite à identifier les différentes combinaisons possibles d'événements qui peuvent entraîner la réalisation de l'événement de tête.

## LES METHODES D'ESTIMATION

### - les méthodes traditionnelles

En règle générale, l'estimation d'un risque se fait à partir de sa **probabilité d'apparition** (occurrence) et de **sa gravité** (impact). On peut « rajouter » à cette estimation, un coefficient lié à la probabilité de **détection** du risque.

Occurrence et impact, sont mesurés sur une échelle de valeurs dont le détail est fonction du degré de complexité que l'on veut apporter à l'évaluation et la gestion du risque (de 1 à 4 dans les cas simples, de 1 à 10 dans les cas complexes)

### - les méthodes probabilistes objectives

#### les bases de données

**Méthodes scientifiques ou objectives** dans lesquelles on peut retrouver :

- Les **méthodes statistiques**, basées sur l'expérience passée et permettant de donner une probabilité précise sur la base de la loi des grands nombres
- Les **méthodes probabilistes**, basées sur des calculs techniques de fiabilité et de taux de défaillance (calculs ou expérimentations)
- Les **analyses combinatoires** permettant à partir de probabilités élémentaires, de raisonner sur des ensembles plus importants ou sur la totalité du projet (méthode de Monte Carlo)

### l'estimation fiabiliste

L'estimation du niveau de fiabilité d'un système peut s'effectuer par l'une des approches décrites ci-dessous.

- **METHODES DE NIVEAU 1**

Les méthodes de niveau 1 permettent de justifier que les niveaux de fiabilité requis pour un système donné sont atteints dès qu'un certain nombre de conditions, écrites dans un format de calcul prédéfini sont vérifiées. Aucun calcul de probabilité de défaillance n'est effectué.

- **METHODES PROBABILISTES DE NIVEAUX 2 et 3**

Les méthodes probabilistes de niveaux 2 et 3 reprennent le principe du calcul aux états limites : on se fixe un certain nombre d'états limites (modèles mathématiques décrivant de manière appropriée le phénomène conduisant à la défaillance dont on veut se prémunir) au delà desquels on considère que le système est défaillant, et on estime la probabilité de dépassement de cet état limite.

Ce sont des méthodes intégralement probabilistes, qui permettent de déterminer des probabilités de défaillance réelles. Elles présentent l'avantage majeur de ne dépendre d'aucune hypothèse limitative.

- **METHODES POSSIBILISTES**

Les méthodes précédentes supposent que les modèles mathématiques traduisant le phénomène de défaillance sont explicitement connus, ce qui est loin d'être toujours le cas . Il est possible de pallier à ce manque de connaissance par utilisation d'avis d'experts dans une approche possibiliste basée sur des concepts de logique floue.

### ***- les méthodes probabilistes subjectives***

#### ELICITATION A DIRE D'EXPERT

De nombreux statisticiens ont longtemps été réticents pour introduire dans leurs estimations les connaissances des experts. Pour ces derniers, l'analyse statistique basée sur la fréquence de répétition d'un événement est la seule procédure objective permettant d'évaluer correctement la probabilité de cet événement.

Dans le cas d'évènements rares, le concept classique de fréquence est encore moins justifié. L'estimation des probabilités d'évènements rares se trouve fortement limitée par les incertitudes sur les données, leur faible nombre et par l'incertitude sur les modèles. Les connaissances a priori des experts, dans ce cadre particulier, peuvent améliorer de façon significative la capacité d'un modèle statistique dans l'extrapolation des queues de distribution.

Les informations disponibles sur un paramètre seront donc les avis d'expert sur le comportement de ce paramètre (information initiale ou information a priori) et les données observées ou observations sur ce même paramètre (utilisation du théorème de Bayes).

#### ELICITATION EXPERIMENTALE : ENCODAGE DES PROBABILITES SUBJECTIVES

Face à l'absence ou la non fiabilité des fréquences liées aux risques, les questionnaires de risques recourent le plus souvent à des subterfuges qui sont aussi illusoire les uns que les autres :

- recourir au dire d'expert « directement » en demandant aux personnes familières des phénomènes de « donner une probabilité » à tel ou tel phénomène.

- utiliser directement un « logiciel » d'estimation des lois de probabilité

La conclusion de tout cela est que si l'on utilise les méthodes courantes de « cartographie » des risques, *même si chacun des membres du groupe a confirmé son accord sur une représentation proposée*, il y aura représentations individuelles non superposées de ladite grille.

Tenir compte effectivement et honnêtement de l'opinion des parties prenantes requiert une mesure de ces opinions.

- **LES CONTRIBUTIONS DE LA PSYCHOLOGIE COGNITIVE ECONOMIQUE**

Or, on peut souvent faire mieux et on sait comment procéder si l'on tient compte des contributions scientifiques de la psychologie cognitive. Ces contributions constituent non seulement des modélisations du risque nouvelles mais aussi une véritable « ingénierie » des théories existantes. On se limitera donc ici à la modélisation la plus courante du risque : **espérance de gain ou de perte** ou **espérance d'utilité**.

- **METHODES DE REVELATION INDIRECTE : PROBABILITES SUBJECTIVES**

Il s'agit de méthodes non paramétriques, qu'il n'est pas interdit de combiner ensuite avec des méthodes paramétriques, voire avec d'autres méthodes non paramétriques comme la méthode d'estimation par fractiles ou la méthode de Moore et Thomas, ou encore d'encadrer par l'utilisation de progiciels dont on a fait état plus haut. On se borne à l'évocation de trois méthodes de base.

- La méthode des paris opposés équivalents.
- La méthode des équivalents certains
- La méthode des loteries équivalentes

## **LES METHODES D'EVALUATION**

### **- les enjeux**

On se positionne dans le domaine de l'anticipation et de la prévention, plutôt que dans celui de la gestion de la conséquence une fois le risque avéré

Les enjeux sont liés aux méthodes d'estimation et d'évaluation du risque, celles ci devant être globales à la fois techniques et économiques

### **- les méthodes**

La méthode d'évaluation se fait en 2 étapes :

- la détermination des règles de hiérarchisation :
- la détermination du degré d'acceptabilité, qui peut être faite de plusieurs manières : évaluation « scientifique », évaluation individuelle « à dire d'expert », évaluation participative et collective.

## Thème 4

## **Retour d'expérience : diagnostic, sûreté, risque et gestion des ouvrages et des sites**

*L'animation générale du thème 4 et la rédaction du rapport de synthèse ont été assurées par Daniel BOISSIER et Laurent PEYRAS, sachant que par ailleurs, chacun des membres du thème 4 a contribué activement aux travaux, aux relectures et à la mise au format de ce document<sup>4</sup>*

*Les animateurs du thème 4 tiennent ici à remercier les membres de ce groupe pour leur participation active et constructive et pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail.*

### **Rappel des objectifs**

Les différents acteurs du génie civil s'accordent sur la nécessité de capitaliser les données du retour d'expérience afin de pouvoir les valoriser pour le diagnostic et l'analyse de risques de défaillance des ouvrages et des sites.

Après avoir fait ce constat de consensus, une problématique de recherche apparaît rapidement : Quelles données faut-il capitaliser ? Sous quel format ? Comment s'assurer de la qualité et de la complétude des informations à sauvegarder ? Quel traitement doit-on donner à ces données ? Quelle valorisation peut-on envisager ? En particulier, un point sensible est celui de l'analyse des retours d'expérience pour en déduire les scénarios et les mécanismes en jeu.

### **Les travaux proposés – champ thématique couvert**

Il est important de connaître l'éventail des approches disponibles, leurs contextes d'application et de validité, les résultats qui peuvent être attendus et leurs limites. Les acteurs impliqués dans ce thème représentent donc différents secteurs du génie civil où le retour d'expérience revêt une importance particulière, et couvre l'essentiel des utilisations : aide à la gestion d'un patrimoine, aide à l'expertise, détermination des niveaux de sécurité...

Les pratiques de ces acteurs sont également représentatives des différents modes de gestion des informations liées au retour d'expérience : expertise, fiabilité, mécanique, statistique. Les acteurs universitaires présents dans ce groupe apportent une vision plus transversale de ces préoccupations et recherchent dans un premier temps la présence d'invariants dans ces démarches.

---

<sup>4</sup> Ont contribué aux travaux du Thème 4 les experts suivants : Corinne CURT (Cemagref), Etienne BOUCART (CERIB), Aurélie TALON et Julien HANS (CSTB), Nicole HENRIET et Pascal PERROTIN (ESIGEC - LOCIE), Philippe LEPERT et Tristan LORINO (LCPC), Gilles REBOUL et Jean François KERSALE (SNCF), Marc SOLARINO (Univ. Blaise PASCAL – CUST), Katia LAFFRECHINE et Youssef DIAB (Univ. Marne la Vallée).

### **Les actions réalisées en 2003-2004**

Le groupe de travail s'est réuni à trois reprises. Les exposés et échanges ont permis d'illustrer la diversité des pratiques et d'élaborer une classification des pratiques.

Le groupe a souhaité rédiger un rapport de synthèse relatif au retour d'expérience en génie civil, en se plaçant principalement dans le contexte de gestion d'ouvrages en service. Les trois étapes de l'utilisation du retour d'expérience ont été examinées :

- le recueil des données ;
- le traitement des données ;
- la valorisation du retour d'expérience.

En ce qui concerne le recueil des données du retour d'expérience, on a mis en évidence une classification selon la nature de l'information. On distingue :

- les données du retour d'expérience basées sur l'expérimentation (essais en laboratoire ou in situ, sur ouvrages réels ou modèles réduits, modélisation numériques et simulations). Elles sont obtenues dans les contextes d'ouvrages produits en série (produits préfabriqués) ou, a contrario, d'ouvrages à caractère unique soumis à des sollicitations extrêmes (ouvrages en montagne) ;
- les données du retour d'expérience basées sur l'auscultation (visuelle ou instrumentée). Elles sont obtenues par analyse systématique (cas des réseaux à grands linéaires tels que les chaussées et les réseaux enterrés) ou par analyse experte et consistent en des inspections visuelles réalisées par des agents spécialisés (cas par exemple des ouvrages d'art relevant du parc de la SNCF ou encore des barrages).

Le traitement des données du retour d'expérience peut s'opérer selon deux approches : les approches analytiques (incluant les traitements physique et fiabiliste) et les approches systémiques (incluant les traitements par les statistiques ou par l'expertise).

*L'approche physique* consiste à intégrer les données du retour d'expérience (données issues de l'expérimentation ou de l'auscultation instrumentée) dans des modèles physiques de comportement ou d'états-limites. Il s'agit de l'approche traditionnelle en génie civil, qui est mise en pratique dans le domaine des ouvrages de montagne (expérimentation puis traitement dans un modèle d'endommagement).

*L'approche fiabiliste* du retour d'expérience est un traitement particulier de l'approche physique. Elle nécessite des données abondantes, complètes et précises, et des modèles physiques des ouvrages relativement simples. Elle est illustrée par la pratique dans le domaine des structures préfabriquées en béton ou encore des ouvrages Offshore et du génie civil nucléaire. Dans cette rubrique, indiquons que le génie civil bénéficie de quelques 30 années de retour d'expérience appliquées à la justification des ouvrages d'art et des bâtiments par les méthodes semi-probabilistes.

*L'approche par les statistiques* est utilisée dans les secteurs où les données sont abondantes, mais où il est difficile d'obtenir un modèle physique de comportement du système. On recherche alors les corrélations entre les données du retour d'expérience et un certain nombre de facteurs explicatifs. Cette approche est adoptée dans les ouvrages à grands linéaires, tels les chaussées ou les réseaux enterrés.

*L'approche experte* est mise en œuvre dans des contextes d'ouvrages hétérogènes, mal connus présentant peu d'informations. Par référence aux données du retour d'expérience, l'expert est à même alors d'obtenir une aide pour réaliser ses missions. Le domaine des barrages et des ouvrages de la SNCF illustrent bien cette approche.

Enfin, *la fusion des données* est une approche d'homogénéisation des informations du retour d'expérience, qui permet de prendre en compte tous les types d'informations (expertise, industrielle, expérimentale...), d'évaluer leur qualité et de les fusionner. Elle est mise en œuvre dans le domaine de la gestion de projets de génie civil et de l'analyse de cycle de vie de produits du bâtiment pour l'évaluation de leur durée de vie. Cette approche permet d'intégrer dans les processus de décision des données qualitatives, quantitatives entachées d'incertitudes, incomplètes et imprécises.

Nous avons classé la valorisation du retour d'expérience selon un axe temporel correspondant à la vie d'ouvrages de génie civil en trois domaines d'application : le diagnostic, l'évaluation de la sûreté et la prévision des évolutions. Un autre choix de classification aurait consisté à distinguer les approches performantielles et patrimoniales.

*En diagnostic*, les données du retour d'expérience vont permettre de déterminer l'origine des défaillances d'un système. Cette démarche est mise en œuvre dans le domaine des barrages et dans le cadre d'une approche experte.

*En évaluation de la sûreté*, les données du retour d'expérience visent à évaluer la fiabilité, le niveau de protection ou encore d'apprécier l'état d'un ouvrage. On rencontre différents domaines du génie civil où les données du retour d'expérience sont utilisées à ces fins. Ainsi, dans le secteur des produits préfabriqués en béton, les données du retour d'expérience permettent d'obtenir directement la fiabilité des structures, compte tenu de la complétude et de la précision des informations disponibles. Dans le domaine des ouvrages en montagne, on recherche à évaluer quantitativement, par approche physique, les endommagements suite aux chocs, et donc par cela même, la sécurité intrinsèque des ouvrages. Dans le cas des réseaux d'eau potable enterrés, les traitements statistiques des données permettent une prévision de l'état des canalisations.

Enfin *en prévision des évolutions*, on trouve deux domaines d'application : la gestion patrimoniale et l'analyse de risques. Là aussi, le traitement des informations (statistique ou expertise) est directement lié aux données disponibles : abondantes ou pas, complètes ou incomplètes, précises ou imprécises. Toutefois, on constate que les approches statistiques sont utilisées généralement dans la gestion patrimoniale des ouvrages, à l'instar des domaines des ouvrages de la SNCF, du parc de chaussées ou des réseaux enterrés. En revanche, les approches expertes sont plutôt réservées à l'analyse de risques, à l'instar des barrages.

Cette synthèse met en évidence une tendance générale à la formalisation des informations du retour d'expérience dans le but de capitaliser les données. Pour certains organismes tels la SNCF, le CSTB et le Cemagref, les pratiques constatées visent en outre à pérenniser le savoir et le savoir-faire des experts seniors, ceux qui ont conçu les ouvrages qu'il s'agit maintenant de gérer dans les meilleures conditions de sécurité et au meilleur coût.

## **Conclusions et perspectives**

Trois conclusions fortes ressortent du travail réalisé dans ce thème.

### 1) Enjeux de la capitalisation

La capitalisation de l'expertise est d'un grand enjeu pour les différents organismes qui ont une pratique quotidienne du recueil d'expertise et de son exploitation et qui souhaitent continuer à pouvoir utiliser cette expertise en aide à la décision. Or, une part de cette

expertise se dilue, disparaît avec l'arrêt d'activités des experts, avec les nouvelles organisations et les restructurations des organismes.

2) Les pratiques de recueil, d'exploitation et d'utilisation de l'expertise sont fortement différentes d'un organisme à l'autre.

3) L'expertise est peu valorisée en formation des ingénieurs car elle est rarement élicitée et explicitée.

De ces conclusions le groupe de travail a dégagé les perspectives suivantes :

1) Nécessité de mise en place d'un langage de description et d'un format communs aux champs d'expertise du génie civil.

2) Nécessité de création de structures de bases de données selon les formalismes définis à l'alinéa 1 et contenant :

- a. Des descriptions théoriques des phénomènes et de leurs scénarios d'occurrence,
- b. Des historiques d'évolution et/ou d'accidents,
- c. Des outils et méthodologies d'évaluation pour le diagnostic et l'analyse de risques.

3) Nécessité d'alimenter ces bases de données et de les faire vivre pour et par l'usage des professionnels mais aussi en tant que bases pédagogiques pour les futurs ingénieurs.

## Thème 5

### STRATEGIES DE PREVENTION DES RISQUES

#### Complexité, organisation et décision

*Ce texte a été élaboré sous la responsabilité de*

- ☞ M. Crémona (LCPC) pour la partie 5A,
- ☞ M. Breysse (CDGA, Univ. Bordeaux1) et M. Melacca (SMABTP) pour la partie 5B.

*Il résulte de l'analyse et de la synthèse de la littérature scientifique et technique disponible dans le domaine traité et de réflexions suscitées lors de réunions collectives, ou à l'occasion de colloque abordant le thème traité.*

#### **Rappel des objectifs**

Les intervenants à l'acte de construire et de gérer des ouvrages (maîtrise d'ouvrage - maîtrise d'œuvre - entreprises – exploitants - usagers) sont de plus en plus « exposés » dans l'exercice de leurs contrats, et leur stratégie de prévention / gestion des risques s'avère d'autant plus complexe.

La maîtrise des risques passe par l'identification et l'évaluation des facteurs de risques (complexité technique et organisationnelle des opérations, maîtrise des dimensions temporelles, à court terme et long terme) et des conséquences des dysfonctionnements, aussi bien pour le système que pour son environnement.

Elle s'inscrit aussi dans une perspective globale, accompagnant la prise de conscience de la société (et du monde politique !) de nouvelles exigences : développement durable assurant la protection de l'environnement, principe de précaution, allocation optimale des ressources naturelles et financières et obligent a contrario à définir clairement les risques acceptables par les tous les intervenants.

Le développement des nouvelles technologies, l'instantanéité de l'information qu'elles rendent possible et l'aptitude à gérer en temps réel de grandes masses d'information, modifient le rapport que chaque acteur entretient avec le risque et fournit des outils qui peuvent contribuer à une prévention plus efficaces des risques.

Nous souhaitons identifier et qualifier les pratiques, processus et règles qui favorisent les situations dégradées (au sens de la gestion de risques), c'est-à-dire telles que le risque «dérive» sans être maîtrisé; les réponses de ces différents acteurs et la façon dont le développement de nouveaux outils et modes d'organisation (NTIC, ingénierie concourante, pratiques optimales) peuvent modifier les équilibres entre les acteurs et permettre une maîtrise plus efficace des risques.

### **Les travaux proposés – champ thématique couvert**

Deux sous-thèmes ont été abordés, répondant à un même questionnement général, mais correspondant à des contextes différents du génie civil :

- Thème 5A : Stratégie de maintenance des ouvrages
- Thème 5B : Du maître d’ouvrage à l’assureur : pour des réponses optimales face aux risques.

Dans les deux cas, on a analysé la complexité des questions posées, qu’il s’agisse de questions relatives à la physique, à la maîtrise de la dimension temporelle (en particulier sur le long, voire très long terme), et aux interactions entre acteurs.

Le Thème 5A a élaboré un état de l’art des méthodes de gestion et de maintenance, pour analyser dans quelle mesure une prise en compte de la dimensions risques, dans toutes ses composantes, depuis l’ouvrage individuel jusqu’au parc dans son ensemble, pourrait permettre d’élaborer des stratégies optimales.

Le Thème 5B a mené une analyse pluridisciplinaire des risques attachés aux acteurs et à leurs modes d’organisation dans quelques situations représentatives par leur complexité et leurs enjeux, impliquant des problèmes de risques relevant de la géotechnique, induits par les pratiques et les modes d’organisation au cours d’une opération de construction. Il s’est agi en particulier d’identifier la façon dont chacun des acteurs se positionne par rapport aux risques (*perception, acceptation, responsabilité*), quels sont les degrés de liberté (*techniques, réglementaires, économiques...*) dont il dispose, et comment le risque global en résulte pour l’opération ou l’ouvrage.

## **Thème 5**

### **STRATEGIES DE PREVENTION DES RISQUES**

#### **Complexité, organisation et décision**

##### **5.A. Stratégies de maintenance des ouvrages. Principes et méthodes**

Les fonctions que doivent assurer les ouvrages de génie civil peuvent être altérées ou compromises par de nombreux aléas d’origine naturelle ou humaine. Les stratégies de gestion et de maintenance de ces ouvrages ne peuvent être pertinentes et efficaces d’un point de vue technique, économique et social que si elles tiennent compte des menaces qui affectent le plus ces fonctions. Les demandes actuelles et accrues de la société dans un développement durable assurant la protection de l’environnement, des biens et des individus avec une allocation

optimale des ressources naturelles et financières concourent également à la définition de nouvelles politiques de gestion des ouvrages de génie civil.

C'est en construisant et en évaluant les relations entre coûts et bénéfices (appelées analyses coûts-bénéfices) associées à chaque alternative de gestion, que des stratégies « optimales » pourront être élaborées et mises en œuvre.

## **1. Analyse de la complexité**

### **1.1. Complexité physique : maîtriser les effets du temps**

Une modification de la performance d'un ouvrage (perte de production, perte d'accessibilité, baisse du niveau de sécurité) va entraîner des actions de maintenance. Les décisions relatives à la gestion d'un ouvrage ou structure particulière portent sur : la stratégie de maintenance, la méthode de gestion, la durée d'application de la maintenance, l'âge d'application de la maintenance. La maintenance peut encore être *palliative* ou *curative, systématique* ou *conditionnelle*.

La perte de performance a comme conséquences une perte matérielle et une perte immatérielle, par définition difficilement quantifiable. Il est parfois difficile de déterminer la valeur économique d'une perte de performance, quand les conséquences diffuses et les pertes graduelles).

Le manque de connaissances rend très difficile l'établissement de pronostics sur le comportement futur d'un ouvrage et sur sa durée de vie résiduelle. Si l'on peut parfois se contenter d'extrapoler les informations issues du retour d'expérience, la difficulté essentielle réside dans le passage des lois de dégradation locales du matériau aux lois d'évolution des désordres de la structure, et aux lois d'évolution qui en découlent pour la satisfaction des fonctions de l'ouvrage.

### **1.2. Complexité organisationnelle : de l'ouvrage au patrimoine**

Depuis maintenant une vingtaine d'années, de très nombreux développements dans le domaine de l'optimisation de la maintenance de structures complexes ont été menés. Dans le cadre d'ouvrages de génie, en dehors d'ouvrages exceptionnels, il faut faire face à une multitude d'ouvrages divers, gérés par des autorités de structures administratives ou privées différentes, ce qui conduit à ne plus nécessairement (sauf dans le cas d'ouvrages particuliers exceptionnels ou fortement dégradés) procéder à une analyse ouvrage par ouvrage, mais à aborder le patrimoine d'un point de vue plus globale.

Un système de gestion d'ouvrages de génie civil agit généralement au niveau de l'ouvrage individuel où la gestion a un caractère essentiellement technique, et au niveau du parc où la gestion a un caractère économique et politique, avec de fortes interactions entre ces deux niveaux de gestion. On note en particulier que

- un parc d'ouvrages est en général une collection d'objets uniques dont la diversité pose des problèmes liés à la difficulté de déduire des lois globales à partir de l'observation de cas particuliers, et dont l'hétérogénéité explique en partie la difficulté de formuler des lois générales d'évolution des ouvrages en fonction du temps,

- la gestion s’inscrit forcément dans la durée (plusieurs générations humaines), ce qui pose le problème de la continuité des approches socio-économiques avec le temps.

La notion de *coût du cycle de vie* apparaît comme fondamentale en matière de gestion. Le coût de la maintenance doit en effet prendre en compte non seulement les coûts initiaux, mais aussi les coûts futurs qui sont fonction de la stratégie de maintenance adoptée. Ainsi, si l’on effectue aujourd’hui une réparation provisoire à la place d’une réparation définitive, il sera nécessaire de procéder à des travaux conséquents plus tard. Pour pouvoir appliquer cette notion de cycle de vie, les coûts et les bénéfices obtenus au cours du temps doivent pouvoir être évalués. La prise en compte du temps se fait par l’intermédiaire du taux d’actualisation qui mesure la préférence qu’a la collectivité pour le présent plutôt que pour le futur. La politique la plus rentable est celle qui maximise la différence entre les bénéfices et les coûts actualisés (les coûts intégrant les dépenses de maintenance effectuées par le gestionnaire et les coûts sociaux supportés par la collectivité).

## 2. La maintenance basée sur le risque

Le risque est souvent défini par une série de conséquences (sociales, environnementales, économiques) associées à des probabilités d’occurrence de menaces ou de dangers. L’analyse de risques est un ensemble de démarches ayant pour objectifs de quantifier les risques et donc les pertes espérées. Un tel processus repose sur :

- l’identification des événements indésirables (menaces)  $A = (A_1, A_2, \dots)$ ,
- l’analyse des causes menant à chaque  $A_i$  et de leur vraisemblance (l’analyse des arbres de défaillance constitue un outil souvent utilisé),
- l’analyse des conséquences de chaque  $A_i$
- la quantification des risques.

L’analyse de risque établit une base pour la prise de décision en termes de mesures ou de moyens, incluant les stratégies et les actions de maintenance. Ces processus sont particulièrement bien adaptés pour identifier les phénomènes qui influencent de manière notable le risque, et pour analyser les mesures de réduction du risque (ces aspects ont aussi été abordés au sein des Thèmes 3 et 4).

La *théorie des probabilités* est un outil mathématique des plus appropriés pour appréhender cet environnement incertain, sans constituer la panacée ; que dire des situations (notamment la construction d’infrastructures nouvelles) qui ne permettent pas de déterminer avec une précision suffisante la distribution de probabilité des événements possibles ? C’est d’ailleurs dans ces mêmes cas que vient se rajouter aujourd’hui le *concept de précaution* en tant que principe de comportement et de gestion face à un environnement incertain. Comment appliquer une analyse coût-bénéfice dans de telles conditions d’ambiguïté ? D’autres modèles, basés sur les *concepts d’espérance d’utilité*, offrent une interprétation étendue du principe de précaution en termes de maximisation du bien-être de la population.

De nombreuses difficultés pour l’implémentation d’une approche basée sur le risque subsistent :

- on peut distinguer risque exprimé et risque interprété, risque objectif et risque à venir (cf principe de précaution),
- il faut aussi tenir compte de l'attitude de la société et des preneurs de décision face au risque : aversion au risque, risque subjectif...

On retrouve ici les questionnements posés (Thème 1 et Thème 5B) sur la perception et l'appréhension des risques.

La plupart des approches d'optimisation de la maintenance introduisent des valeurs espérées exprimées en bénéfices ou pertes moyennes. On sait à la suite des travaux de Bernoulli que les notions de coût (gain ou perte) espéré présentent de nombreux désavantages théoriques (paradoxe de Saint-Pétersbourg). A la maximisation de l'espérance mathématique, Bernoulli substitue la maximisation de l'espérance morale en introduisant le concept d'utilité : la valeur d'un objet n'est pas analysée au travers de ses bénéfices, mais de l'utilité qu'il procure. Dans ce cas, ce n'est pas la perte espérée qu'il convient de calculer, mais la perte d'utilité espérée :

$$E[U(C_i)] = \int_{D_G} U(c) f_{C_i}(c) dc$$

où  $U(\cdot)$  est appelée fonction d'utilité. De façon assez surprenante, ces concepts d'utilité ont été peu considérés dans les procédures d'optimisation de la maintenance des structures de génie civil. Ils sont par contre utilisés dans la maintenance industrielle. L'une des difficultés du concept d'utilité est la définition et la construction de la fonction  $U$  (qui devrait aussi, en pratique tenir compte des différents points de vue que peuvent porter les intervenants concernés par le risque).

L'approche coût/bénéfice constitue une démarche d'optimisation alternative. L'idée est d'assigner des valeurs monétaires à une liste de menaces et de dangers, et de résumer la qualité d'une alternative par une valeur nette actualisée espérée. L'un des majeurs problèmes rencontrés est la transformation des conséquences non économiques (comme les pertes en vies humaines, les dommages à l'environnement) en valeurs monétaires. Quelle est la valeur (statistique) d'une vie ? Quelle est la valeur d'un bien pour des générations futures ? Ces questions sont loin d'être triviales et toutes les méthodes de quantification de la valeur d'un risque peuvent être critiquées sur de nombreux aspects. Les analyses coût-bénéfice reposent sur des hypothèses simplificatrices qui tendent à privilégier certaines conséquences ou menaces, et en négliger d'autres.

D'autres problèmes proviennent de la prise en compte de l'actualisation économique, puisque, à l'échelle de quelques dizaines d'années, les coûts futurs deviennent assez rapidement négligeables par rapport aux coûts actuels, et la tentation est alors grande en terme économique de différer les interventions lourdes. Mais, l'accumulation d'interventions différées peut entraîner à la longue une réhabilitation complète particulièrement onéreuse. Il est par conséquent indispensable de conserver une vision et une stratégie de maintenance sur le long terme en parallèle.

### 3. L'apport d'un retour d'expérience : l'inspection

Les inspections forment une part importante du processus de gestion de l'intégrité des ouvrages comme moyen de surveillance de leur performance (durabilité, aptitude au service, sécurité structurale). Cependant, les inspections, suivant leur niveau de sophistication, peuvent représenter un coût non négligeable pour un gestionnaire ou un maître d'ouvrage.

La pratique traditionnelle, qui ne prend pas en compte de manière optimale les données de performance passées, peut conduire à une quantité substantielle d'inspections inefficaces, soit par oubli d'inspecter des parties critiques importantes, soit en mettant en œuvre des techniques d'inspection inadéquates.

Les approches en fiabilité ont été développées pour fournir aux maîtres d'ouvrages des outils plus rationnels pour déterminer des calendriers d'inspection afin de maximiser leur efficacité et contrôler les niveaux de sécurité. La valorisation de ce retour d'expérience (traitée plus en détail dans le cadre du Thème 4) sous la forme par exemple d'essais non destructifs, étant donné leur coût, demande que l'on soit capable de les utiliser de façon optimale. Il faut aussi être capable de tenir compte de la qualité des données recueillies (qualité des inspections), quantifiée par un couple (probabilité de détection/probabilité de fausse alarme). Ces données conditionnent la confiance à apporter aux inspections pour la prise de décision.

### ***Propositions d'action***

Dans les systèmes d'aide à la décision pour la gestion des ouvrages (SGO) disponibles en France, aucun modèle de prédiction n'est réellement implanté. De plus les SGO reposent essentiellement sur une globalisation des états de service individuels des ouvrages. Or, dans ce contexte, des stratégies de gestion optimale d'un réseau ne peuvent pas être trouvées si un niveau de service adéquat individuel n'est pas fourni, si des ouvrages sont affectés simultanément ou si l'état du pont ne peut pas être déterminé par inspection visuelle. Une approche basée sur la notion de réseau doit éviter ces limitations en prenant en considération la capacité du réseau comme un ensemble (système) qui fournit un niveau de service adéquat, le rôle et la performance du parc d'ouvrages, et les conséquences si un niveau de service adéquat au niveau réseau n'est pas fourni. Elle doit également autoriser le traitement simultané d'ouvrages déficients.

L'objectif est de développer un concept de gestion d'un réseau d'ouvrages permettant de procurer un niveau de service acceptable, et d'évaluer les conséquences en cas de dysfonctionnement. Il s'agit donc de faire reposer la démarche d'analyse sur des principes d'offre et de demande. L'offre se caractérise par le niveau de service adéquat qui se mesure en fiabilité des éléments (ponts), de la connectivité du réseau, et de sa fonctionnalité. La demande s'évalue par des coûts directs ou indirects, ou des fonctions d'utilité.

Les conséquences si un niveau de service adéquat n'est pas procuré, sont évaluées en supposant que le réseau a différents états et en estimant les coûts pour l'utilisateur dans ces différents états. En appliquant une approche coût-bénéfice, on pourra élaborer les stratégies optimales d'intervention de telle sorte qu'elles minimisent le dysfonctionnement d'aptitude au service du réseau et les coûts actualisés induits d'intervention sur une période de maintenance prédéfinie. Diverses méthodes économiques peuvent être testées.

## Thème 5

### STRATEGIES DE PREVENTION DES RISQUES

#### Complexité, organisation et décision

#### 5.B. Du maître d'ouvrage à l'assureur : pour une meilleure maîtrise des risques liés à la géotechnique

#### ***Les actions réalisées en 2003-2004***

Le rapport constitue un état des connaissances et des pratiques, que nous nous sommes efforcés de formaliser dans l'esprit d'une identification des facteurs de risques, qui pourra conduire à leur estimation puis à leur évaluation.

L'existence de sinistres géotechniques répétés nuit à l'image de l'ensemble des professionnels et produit des effets pervers (problèmes liés à l'assurabilité des acteurs, multiplication des déclarations CATNAT et conséquences sur les procédures d'indemnisation).

#### **1. Analyse de la complexité**

##### **1.1. Complexité physique**

La première source de risques, invoquée comme la raison majeure des sinistres est la complexité et la variété des sites sur lesquels les ouvrages sont bâtis.

La restriction des espaces disponibles conduit aujourd'hui à aménager, à urbaniser des espaces autrefois délaissés (sols de médiocre qualité) ou à produire des espaces densément bâtis, en multipliant les sources potentielles de désordres. La notion de « vice caché du sol » est souvent invoquée après sinistre.

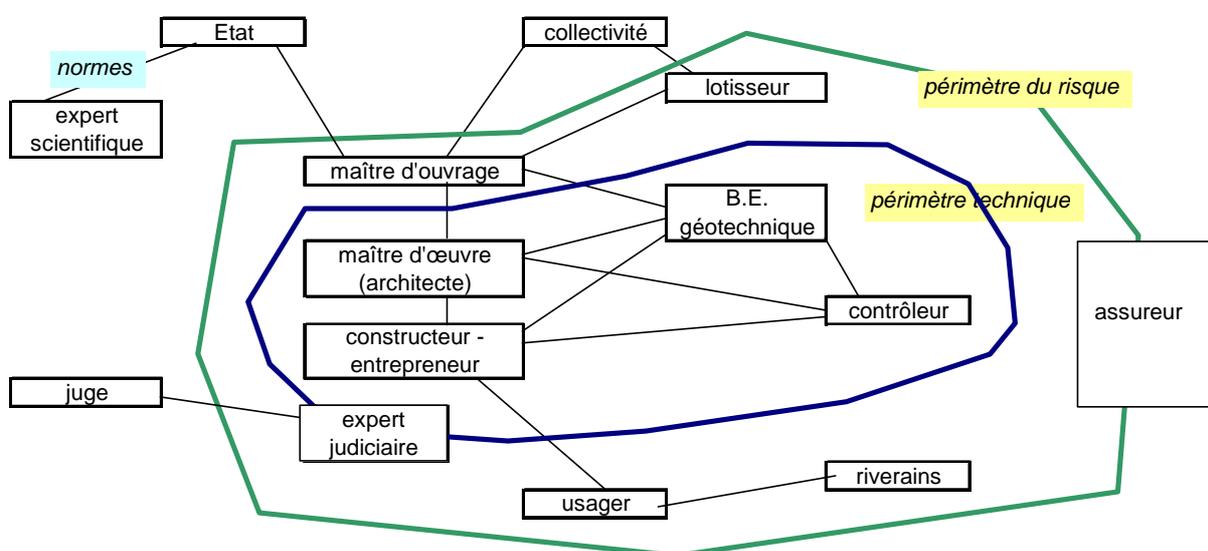
Les méthodes mathématiques de la fiabilité s'avèrent plus utiles pour comparer des solutions ou des valeurs de risques, que pour estimer précisément ces risques. Les défaillances résultent d'ailleurs souvent de risques non envisagés. Elles auraient pu être prévenues par une approche adaptée. L'essentiel n'a souvent pas été fait, en phase d'étude ou en phase de construction, pour tenir compte des problèmes potentiels d'origine géotechnique.

Il en va de même pour les très nombreux sinistres qui résultent des mouvements superficiels de sols sensibles au retrait et au gonflement. Ces sinistres ont de grandes conséquences pour les propriétaires qui en sont les victimes (moins-value de la propriété, inconfort psychologique) et, à terme, pour les élus des communes concernées. Devant la répétition de ces sinistres, se pose désormais le problème de leur indemnisation : est-elle du ressort de la collectivité (via le fonds CATNAT) ou de l'individu (via son assurance personnelle lorsqu'elle est contractuellement possible) ?

Sur le plan purement physique (et géotechnique), les causes des désordres affectant les fondations d'ouvrages sont bien connues. Les choses sont plus complexes quand on modifie l'échelle d'analyse, en passant de la parcelle au quartier ou à la commune, sur laquelle la nature des formations superficielles peut être fort variable. Comment savoir, à l'échelle de la commune, si les zones sont ou non à risques, et adapter en conséquence les constructions ? Qui doit recueillir et diffuser ces informations ? Est-on prêt à payer pour un surcoût de construction alors que la présence locale du risque n'est pas avérée ?

## 1.2. Complexité organisationnelle

Le graphe suivant situe les uns par rapport aux autres, l'ensemble des acteurs principaux de la construction, depuis les maîtres d'ouvrages et les architectes jusqu'aux experts près les assurances ou les tribunaux.



Le graphique révèle que le périmètre du risque est plus large que le seul périmètre technique, puisqu'il inclut des acteurs « non techniques » : maîtres d'ouvrages, usagers, assureurs... Les juristes eux-mêmes, ici placés à l'extérieur de ce périmètre, en modifient les contours par l'évolution de la jurisprudence, qui peut conduire à des modifications des pratiques. Nous nous sommes efforcés de préciser les rôles (missions, relations avec les autres acteurs, influence sur les risques, moyens d'action) que jouent ces divers acteurs.

## 1.3. Le risque géotechnique : une appellation abusive

Le qualificatif de « risque géotechnique » s'est imposé pour traiter de l'ensemble des problèmes, désordres et sinistres relatifs aux terrains. Cette appellation raccourcie est abusive car si la géotechnique constitue bien l'aléa, le risque résulte de l'interaction de l'homme (géotechnicien ou non !) avec cet aléa.

L'organisation des marchés, les conflits d'intérêt entre acteurs, la question de la prise en charge d'études préalables... sont autant de sources potentielles de risques. D'une façon générale, les acteurs susceptibles de participer à la qualité devraient être associées à toutes les

étapes de la construction. Si la solution est simple sur le papier, l'existence de nombreux sinistres est la preuve que la non qualité est répandue.

## **2. Deux familles d'acteurs plus particulièrement concernés : géotechniciens et assureurs**

L'assurance a pour fonction sociale de rationaliser le rapport à la fatalité et introduit de la solidarité (en particulier par le biais de la mutualisation). Elle fait reculer la fatalité aveugle : le risque est calculable, prévisible, gérable... il devient assurable. Elle contribue ainsi en partie à la demande de sécurité (le préjudice est réparé, on parle de « parade financière » en gestion des risques, comme on parle de « parade réglementaire » ou de « parade technique »). A l'inverse, on ne peut assurer que l'incertain.

La question de l'assurance peut être posée comme celle d'un partage de risque, incluant le risque financier pour l'assureur, qui peut dès lors, soit refuser d'intervenir, soit agir pour modifier les équilibres entre les acteurs, leurs attitudes et les risques qui en résultent. Le partage équitable du risque suppose aussi un égal accès à l'information pour tous les partenaires. Le porter à connaissance du risque est un lieu de contradiction (coût – responsabilité) entre les différents intérêts.

Les possibilités, liées aux NTIC, de gérer les informations utiles en temps réel, sont susceptibles de modifier les comportements des acteurs (et leurs responsabilités).

Là encore, la notion du périmètre du risque est essentielle.

Le sinistre génère des coûts, mais aussi de l'activité économique (y compris pour les géotechniciens en phase d'expertise ou de travaux de réparation). Ce qui importe est d'allouer les coûts à ceux qui sont censés les supporter. L'éclatement de la maîtrise d'ouvrage (en particulier dans les collectivités territoriales), la multiplication des normes et des enjeux (par exemple environnementaux) compliquent les analyses.

### Des questions posées :

Dans le domaine des risques liés à la géotechnique, on peut par exemple s'interroger :

- **Qui doit assumer la prévention des risques** (par exemple en prenant en charge les études géotechniques préalables) ?
- **Qui doit supporter les conséquences** des risques mal ou non maîtrisés ?
- **Comment ajuster le risque encouru et le risque acceptable** : qui est prêt à accepter quoi ?

Selon qu'il s'agit de risques « accidentels » (sinistres consécutifs à une opération de construction) ou plus « chroniques » (sinistres liés à la sécheresse par exemple), les réponses et les mécanismes d'indemnisation pourront être différents.

On peut aussi se demander ce qui relève de l'accident (et peut être prévenu par une démarche qualité, ou assuré) et ce qui relève de l'impondérable, de l'imprévisible (donc de la solidarité nationale).

Par exemple, dans le cas des sinistres consécutifs aux retraits et gonflements des argiles, on peut s'interroger :

**Dans quelle mesure et comment un événement climatique peut-il être qualifié d'exceptionnel ?** Quelle est la limite entre le « normal », auquel doit faire face l'ouvrage, et

l'exceptionnel, trop rare pour qu'il soit économiquement viable de dimensionner l'ouvrage en conséquence ? Les modifications climatiques en cours peuvent d'ailleurs déplacer ces limites.

Une question corollaire est : **dans quelle mesure une disposition constructive peut-elle être considérée comme un « vice de construction » ?**

Des possibilités d'action :

L'analyse des risques, dans le domaine des sinistres liés à la géotechnique, doit être approfondie et les facteurs de risques doivent être identifiés, qualifiés et quantifiés :

- contexte physique et établissement de typologies,
- nature et performances des acteurs,
- nature des interactions entre acteurs,
- méthodes mises en œuvre pour réduire les risques (formation, procédures qualité, prévention, contrôle),
- utilisation de solutions techniques innovantes,
- influence de la sous-traitance...

On rejoint là encore des problématiques voisines de celles traitées au sein de Thème 3. L'assureur est de plus en plus conduit à se préoccuper du comportement des acteurs, de façon à les modifier éventuellement, en vue d'une meilleure maîtrise des risques.

### ***Propositions d'action***

Les réponses aux questions formulées ci-dessus ne peuvent découler d'une seule analyse des phénomènes physiques et des dimensions techniques, mais doivent résulter d'une analyse de la complexité des problèmes traités, que nous nous sommes efforcés d'explicitier. Il s'agit bien avant tout d'identifier et de qualifier (au travers de sites pilotes ou de typologies établies en exploitant par exemple le retour d'expérience<sup>5</sup>) les pratiques, les processus, les comportements qui favorisent les situations dégradées (au sens de la gestion de risques, c.a.d. telles que le risque « dérive » sans être maîtrisé).

Pour en rester au plan technique, certaines questions restent totalement ouvertes. La notion de **vulnérabilité d'un ouvrage** (aux actions climatiques diffuses, mais aussi aux modifications ou aux « erreurs » en cours de construction) est ainsi une question centrale, qui mériterait d'être approfondie : dans quelle mesure tel mode de réalisation est-il plus ou moins sensible à des « écarts » en phase de travaux ? Existe-t-il des modes de réalisation/de construction plus « robustes » que d'autres<sup>6</sup> ?

Dans l'optique d'une optimisation technico-économique, il faudrait aussi affiner l'analyse de la récurrence des événements diffus (de type gonflement-retrait) en essayant de **préciser la nature et l'étendue des périmètres à risque**.

Ce travail pourrait déboucher sur des recommandations techniques, mais aussi dans le domaine de l'urbanisme : comment qualifier l'aléa à l'échelle du quartier ou de la parcelle et

<sup>5</sup> On peut comprendre cette notion de « retour d'expérience » au sens de l'analyse des défaillances (voir le Thème 2 – ou ingénierie forensique) comme au sens de celle concernant les ouvrages en service (voir le Thème 4).

<sup>6</sup> On rejoint ici la notion de vulnérabilité qui fait l'objet de recherches face aux actions sismiques et, plus récemment, face aux incendies ou aux inondations, en l'étendant à d'autres préoccupations. Certains auteurs analysent aussi la vulnérabilité face aux mouvements de sols, principalement par le biais d'études de cas sur le patrimoine historique. Leurs réflexions pourront être utilisées avec profit. Aujourd'hui, les seules prescriptions portent sur le respect de déplacements différentiels limites (Frank, 1999), que l'on est d'ailleurs bien en peine de prédire.

adapter les modes de reconnaissance et de construction sans surdimensionner systématiquement ?

Il convient aussi d'étudier les **réponses (*techniques et non techniques*) des différents acteurs et la manière dont elles modifient les risques**. Ce travail doit s'appuyer sur l'analyse de la perception des risques par chacun des intervenants et sur l'analyse des conflits d'intérêts<sup>7</sup>. Il pourra aussi étudier comment une modification des pratiques (meilleure formation et prévention, ingénierie concourante – constitution d'une équipe de maîtrise d'oeuvre, principe de dévolution des marchés – ex. moins disant/mieux disant) pourrait contribuer à la qualité.

La **dimension temporelle** est essentielle, qu'il s'agisse du court terme (le risque résultant de l'urgence, du besoin de respecter des délais trop serrés – le maître d'ouvrage, qui impose les délais, est le seul à avoir la maîtrise du temps dans le projet) ou, au contraire, du long terme (le risque, non perceptible à court terme, est imminent sur le long terme, du fait de l'évolution des sols par exemple). La façon dont les modes modernes de gestion de l'information (NTIC, bases de données...) peut contribuer à une meilleure maîtrise des risques constitue un autre axe de recherche.

De ces questionnements résultent quelques propositions prioritaires d'action scientifique. La méthode consisterait, autour d'un axe

**savoir et porter à connaissance → recommander et responsabiliser**

à procéder à une analyse pluridisciplinaire du « risque de sol » pour en identifier les différentes composantes, étudier dans quelle mesure les acteurs supportent le risque, imaginer les avantages et les inconvénients qu'il pourrait y avoir à modifier les points d'équilibre actuels.

Le projet déboucherait sur la **rédaction de documents et de recommandations méthodologiques** (ensemble de bonnes pratiques pour réduire les risques liés à la géotechnique), **destiné à servir de référentiel à l'ensemble des acteurs concernés par la construction**.

Il s'appuierait sur l'analyse de situations caractéristiques dans lesquelles les risques sont peu ou mal maîtrisés et dont il résulte des sinistres conséquents, soit par leur ampleur, soit par leur fréquence.

Les thématiques traitées pourront être affinées, mais pourraient s'organiser en deux thèmes d'intérêt majeur<sup>8</sup> :

- la prévention des **risques liés à la géotechnique lors des opérations de construction** : comment réduire (par la formation, la communication, la recommandation...) la sinistralité due aux sols pendant et à l'issue des chantiers de géotechnique et de construction,
- la prévention **des risques liés au mouvements de sols de type retrait-gonflement** : comment réduire (par l'information, la communication, la recommandation...) la sinistralité qui en résulte.

<sup>7</sup> Un questionnaire a été rédigé, à partir des questionnaires élaborés par les responsables du Thème 1, dans le cadre d'un stage de DESS. Décliné en trois versions (constructeur, géotechnicien, collectivité locale), il est destiné à appréhender, au travers d'entretiens, la perception des risques liés à la géotechnique par les professionnels. L'un de ces questionnaires est présenté en Annexe 2-A (questionnaire Q3).

<sup>8</sup> D'autres thèmes, tels par exemple que les pathologies des dallages, pourraient être abordés, mais nous avons choisi de focaliser ici sur les 2 thèmes traités par le groupe.

## PROJET SCIENTIFIQUE DU G.I.S., PISTES D'ACTION

Mis en place officiellement lors de son Conseil d'Administration fondateur, le 16 décembre 2003, le G.I.S. a travaillé au cours des deux premières années (« officieusement » en 2003, puis en 2004) à partir des 5 Thèmes qui avaient été définis à l'issue d'une réflexion collective.

C'est la synthèse de l'activité de ces thèmes qui a été reproduite dans les pages précédentes, les compte-rendus détaillés étant fournis en Annexes. Dès le démarrage de ces thèmes, nous avons noté :

- des difficultés liées au fait que les périmètres d'action des thèmes devraient être progressivement définis, et que certaines questions pourraient être abordées au sein de plusieurs thèmes,
- des difficultés relatives au vocabulaire, qui peut différer selon la profession ou la spécialité de l'expert, et qui peut être à la source de problèmes importants.

Nous avons choisi, dans cette première phase, de ne pas tenter de résoudre ces questions, laissant chaque thème avancer librement, en ayant simplement connaissance des actions entreprises dans les autres thèmes. Au-delà d'un simple état de l'art, le produit de cette phase est une identification de questions essentielles et une organisation de la problématique.

A l'issue de cette première phase, nous pouvons définir plus précisément le projet scientifique collectif, qui sera décliné sous la forme de Projets. Chaque projet s'inscrira dans un cadre compatible avec la vision collective, mais ne sera pas nécessairement défini dans la continuité d'un Thème.

Avant d'aller plus loin dans les propositions, évoquons deux questions spécifiques, relatives aux notions de vocabulaire et au retour d'expérience.

### LE VOCABULAIRE : LA DEFINITION DU RISQUE

Bien entendu, les notions centrales de « risque », mais aussi celles d'« aléa », de « vulnérabilité » ont fait l'objet de nombreuses discussions dans chacun des thèmes.

Il est significatif qu'après plusieurs mois de travail, les définitions sur lesquelles se sont accordées, à l'intérieur des groupes, les experts, puissent différer aussi sensiblement que c'est le cas pour le vocable « risque ». Comparons à cet effet les définitions sur lesquelles les experts se sont accordés au sein des Thèmes 1 et 3.

Pour simplifier :

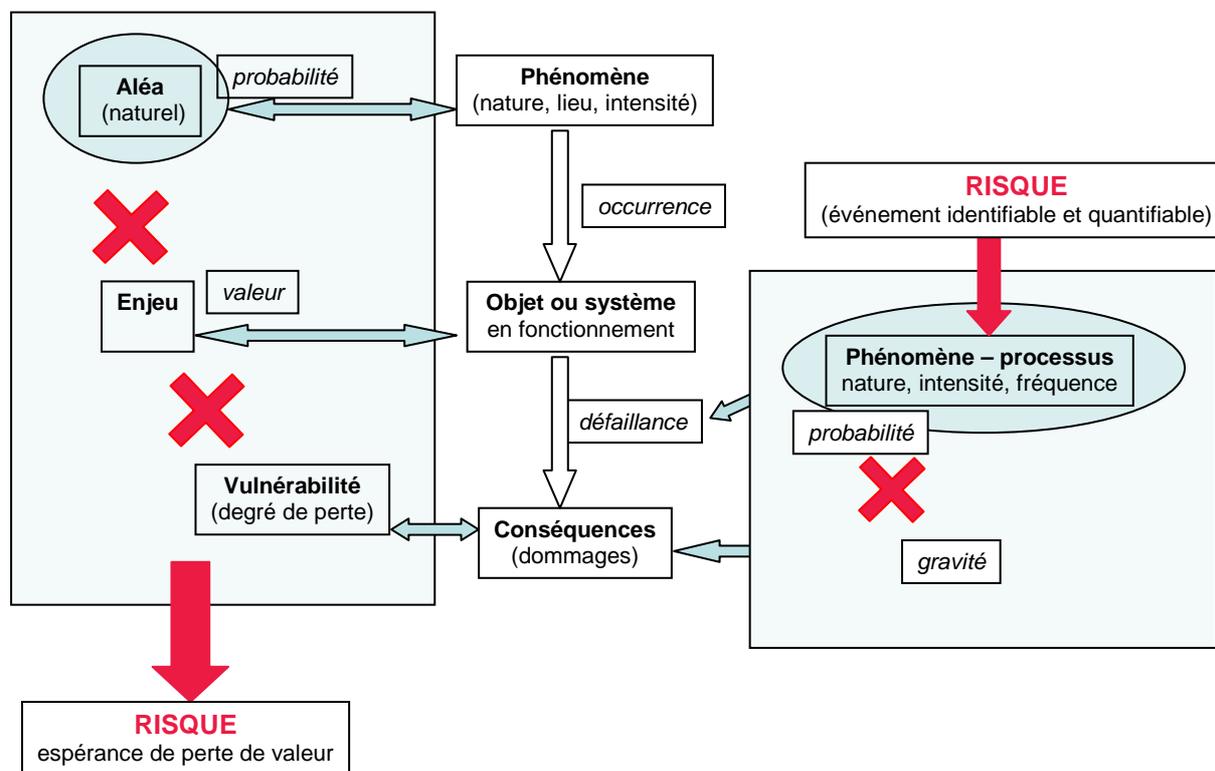
- dans le Thème 1 :

- l'aléa est attaché à l'événement ou au phénomène (souvent d'origine naturelle) à la source du danger,
- l'aléa est susceptible d'affecter des enjeux,
- les enjeux sont dotés d'une vulnérabilité.

Le risque résulte du croisement de l'aléa et des enjeux vulnérables. On peut le quantifier, par exemple par le produit d'une probabilité d'occurrence et d'une valeur (perte de valeur des enjeux).

- dans le Thème 3, on appelle risque un événement identifiable et quantifiable. On peut le quantifier par une probabilité (probabilité que ses conséquences surviennent) et une gravité.

Le schéma ci-dessous compare ces deux définitions.



La principale difficulté vient de ce que les deux définitions se ressemblent et utilisent des termes similaires (événement, probabilité), en leur attribuant une signification différente, ce qui peut prêter à confusion, particulièrement lorsque les deux familles d'experts sont amenées à discuter, ou à intervenir face à un partenaire extérieur (par exemple un décideur confronté aux risques).

En fait, pour les systèmes industriels (partie droite du graphique), les enjeux ne sont pas nommés : le système existe toujours (donc il n'y a pas de phénomène sans enjeu et le phénomène est ce par quoi le système dysfonctionne). La notion de vulnérabilité n'est pas non plus explicite. Les spécialistes du RISQUE NATUREL portent traditionnellement leurs efforts sur l'aléa naturel (qu'il s'agisse de le quantifier, de le prévenir ou d'en réduire les conséquences). Les spécialistes du RISQUE INDUSTRIEL portent leurs efforts sur l'analyse des modes de dysfonctionnement et de leurs conséquences.

Il paraît illusoire, au moins à court terme, de tenter d'homogénéiser le discours des experts, même au sein du G.I.S., puisque chaque expert s'exprime avec le vocabulaire en vigueur (et souvent figé par des normes internationales) dans sa discipline. Il est par contre essentiel d'approfondir ces différences afin de comprendre quels problèmes elles peuvent induire lorsqu'un profane (entrepreneur, collectivité locale), confronté aux risques et à ses experts, doit aborder ces questions.

Il est essentiel que nous puissions mettre à disposition de chaque utilisateur potentiel les moyens de comprendre et d'agir efficacement par rapport aux risques, par exemple :

- en ne confondant pas cartographie d'aléa et cartographie des risques,
- en ne confondant pas identification des dangers et prévention des risques,
- en se dotant des moyens d'une maîtrise et/ou d'une gestion efficace des risques,
- en exploitant dans la mesure du possible toutes les informations disponibles.

### **LA NATURE ET L'EXPLOITATION DU RETOUR D'EXPERIENCE**

Une autre notion abordée par tous les thèmes est celle du retour d'expérience. Il s'agit, selon les cas :

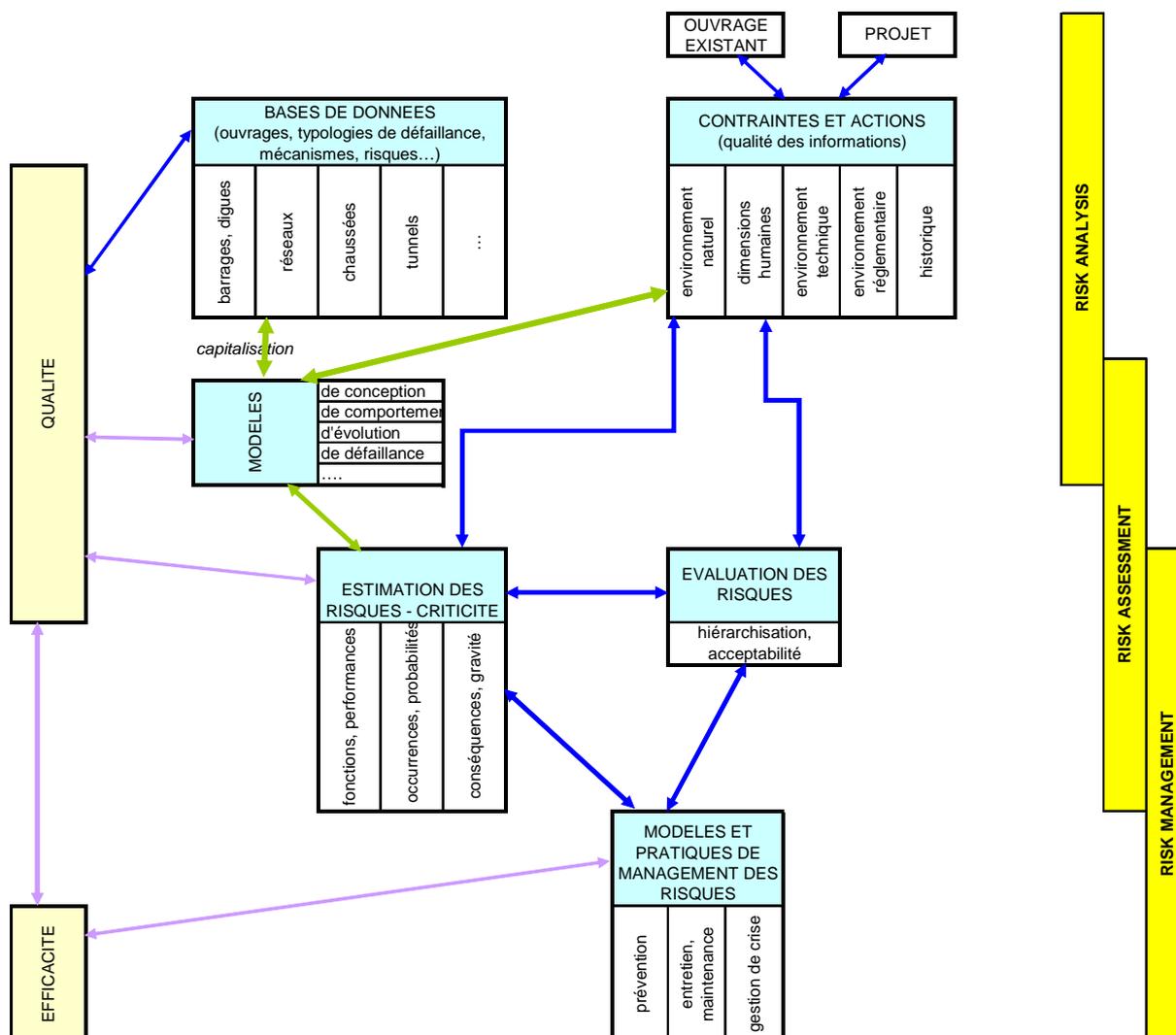
- du retour de l'expérience des praticiens, profanes ou experts, dont il s'agit de comprendre le comportement, d'extraire le savoir, ou d'appréhender la perception qu'ils ont de leurs objets techniques (Thèmes 1, 3 et 5),
- du retour d'expérience pratiqué après défaillances pour en analyser les tenants et les aboutissants (Thèmes 1, 2 et 5), en vue d'une exploitation immédiate ou différée, par exemple dans un cadre pédagogique,
- du retour d'expérience en phase courante de service des ouvrages, que l'on s'inscrive dans une logique de gestion patrimoniale usuelle ou d'analyse de risques (Thème 4).

De profondes similitudes peuvent être relevées entre ces différents contextes. La thésaurisation du retour d'expérience, sur les hommes et sur les systèmes, apparaît comme un élément-clé pour le développement d'une approche rationnelle et d'une meilleure maîtrise des risques en génie civil. La constitution puis l'exploitation et la valorisation de bases de données portant aussi bien sur les ouvrages eux-mêmes que sur les comportements des acteurs humains ou des systèmes socio-techniques constituent donc un enjeu essentiel.

La valorisation des connaissances accumulées, par le biais de formations adaptées, sera l'une des retombées d'une telle action.

## UNE PROPOSITION CADRE POUR LE PROJET SCIENTIFIQUE DU G.I.S.

L'organigramme qui suit s'efforce de représenter, dans toute leur richesse et leur complexité la problématique générale des thèmes abordés par le GIS, depuis le recueil des données jusqu'aux prises de décision.



Au-delà des spécificités relatives au Génie Civil (nature des objets techniques, de leurs fonctions et de leur mode de gestion), ces modules s'organisent suivant les **trois étapes classiques des processus de gestion des risques**, depuis la collecte des données jusqu'à la prise de décision :

(a) l'analyse de risques (RISK ANALYSIS)<sup>9</sup>, comprenant :

- l'identification des dangers, en liaison avec les données : environnement naturel, humain, technologique...
- les scénarios de défaillance, en liaison avec les bases de données et les typologies d'ouvrages,

<sup>9</sup> Défini (Annexe 2B) comme « l'utilisation des informations disponibles pour estimer les risques que les aléas font courir aux individus, aux objets ou à l'environnement », nous n'y incluons pas ici l'estimation des risques, qui fait partie de la deuxième étape.

- les modèles de représentation des défaillances, et les questions relatives à leur qualité,
  - l'estimation des mesures d'occurrence des scénarios,
  - l'estimation des conséquences des défaillances ;
- (b) l'évaluation des risques (RISK ASSESSMENT<sup>10</sup>), intégrant les dimensions humaines, techniques, socio-économiques, environnementales ;
- (c) la gestion des risques (RISK MANAGEMENT<sup>11</sup>), intégrant la gestion de patrimoine, l'optimisation des procédures d'IMR, la gestion des crises...

Les aspects relatifs à l'enseignement des risques concernent l'ensemble des étapes : organisation du retour d'expérience, thésaurisation de la connaissance, formation aux outils et aux modèles...

La mise en relief de ces trois étapes, combinée avec la volonté de développer les aspects transversaux (indépendants de la nature particulière des ouvrages ou projets concernés), mais aussi d'appliquer les démarches et formalismes développés à des ouvrages, familles d'ouvrages ou projets particuliers constitue le fil rouge de l'action scientifique du GIS.

On y relève plus particulièrement :

- que le recours à des modèles (de conception, de comportement, de défaillance...) est nécessaire dans une logique d'estimation des risques,
- que l'élaboration et la validation de ces modèles repose sur la collecte et le traitement des données relatives aux ouvrages et à leurs contraintes,
- qu'une démarche de capitalisation (thésaurisation du retour d'expérience, constitution de bases de données) est essentielle, permettant de passer de l'anecdotique et du particulier au général, et d'élaborer des modèles et des méthodes applicables à des champs d'études plus larges que ceux ayant servi au recueil des données,
- que la qualité (des données, des modèles) est une condition indispensable de l'efficacité des résultats en termes d'estimation, d'évaluation ou de pratiques opérationnelles.

Les dimensions humaines et sociales sont partie intégrante de la plupart de ces modules, qui ne se limitent évidemment pas à une vision techniciste ou mécaniste (par exemple, les modèles de comportement ont aussi bien trait aux comportements des acteurs qu'à ceux des ouvrages).

Face à cette problématique, les voies d'action scientifiquement les plus prometteuses pour le GIS sont :

- **l'amélioration de la qualité des informations** (recueil orienté des données : plus de données ou des données plus fiables, sélectionnées en fonction des objectifs) et des modèles,
- le développement d'une « **panoplie** » de **modèles et de méthodes** qui pourront ensuite être déclinés selon les objectifs précis et en fonction des objets d'études spécifiques,
- la mise au point d'**outils de représentation et de formalisation des pratiques et des logiques** des acteurs, dans une perspective « risques ».

<sup>10</sup> Défini (Annexe 2B) comme le processus qui consiste à élaborer des recommandations pour la décision, relatives à l'acceptabilité des risques existants et aux mesures de contrôle existantes ou à développer.

<sup>11</sup> Défini (Annexe 2B) comme l'application systématique de procédures et de pratiques de gestion pour les tâches d'identification, d'analyse, d'évaluation, de mitigation et de surveillance des risques.

PUBLICATIONS ET COMMUNICATION DU GIS
--------------------------------------

---

### Actions de communication du G.I.S.

---

Paris - 13.04.2004 : Participation aux Rencontres AFPCN (Association Française pour la Prévention des Catastrophes Naturelles) Reconstruction planning and the role of local citizen participation in guiding the process of reconstruction.

- Paris - 3.11.2004 : Co-animation de la journée technique Mission Risques Naturels «Réduction de la vulnérabilité face aux risques naturels majeurs » en collaboration avec la Mission Risques Naturels (MRN) l'Association Française des Etablissements Publics Territoriaux de Bassin (AFEPTB), l'Association Française pour la Prévention des Catastrophes Naturelles (AFPCN). Communication de V. Melacca.

CSTB Paris - 30.11.2004 : Co-animation de la journée d'information et d'échanges du CSTB « Performances, Durées de vie et Durabilité des ouvrages et produits de construction » En collaboration avec le CSTB, l'UNSFA, l'AIMCC, et EGF BTP.

---

### Actions de formation

---

Aussois, 14/17 mars 2004, Animation du séminaire « Maîtrise des risques en génie civil » dans le cadre des 5ème Rencontres RDGC - (Réseau Doctoral en Génie Civil). Présentations de B. De Vanssay (Enquête : risque et concepts du risque), V. Melacca (Risque et assurance), L. Peyras, P. Royet, D. Boissier (Le risque en génie civil, principaux concepts et approches d'analyse).

Marne la Vallée, 3 et 4 juin 2004, Interventions aux XXIIèmes Rencontres Universitaires de Génie Civil « Ville et Génie Civil », Atelier « Le Risque en Génie Civil » aux *Rencontres de l'AUGC*, organisé par F. Masrouri. Communications de V. Melacca, R. Harouimi et L. Peyras.

---

### Communications de membres du G.I.S.

---

- V. Melacca, D. Breysse, « MRGenCi – pour une meilleure maîtrise des risques en génie civil », Colloque Solscope, L'étude géotechnique : nécessité technique ou garantie juridique ?, Poitiers, 9-10/10/2003.

- Y. Paulin, « Contribution et propositions techniques pour la gestion et la prévention du risque sécheresse », Mémoire de Master, Univ. Bordeaux 1, 2004.

- D. Breysse, « Dimensions humaines et sociales de la maîtrise des risques », Annales ITBTP, 11-12/2003, pp. 6-18.

## 1. Préambule

Après une courte analyse du contexte, le présent appel à intérêt a pour objet d'identifier :

- les divers partenaires appartenant aux mondes académiques et professionnels susceptibles par leur implication de constituer un Groupement d'Intérêt Scientifique cohérent et efficace ;
- la structure du groupement ;
- le mode de fonctionnement du groupement.

## 2. Contexte

Les citoyens sont de plus en plus sensibilisés aux risques d'origine naturelle, industrielle ou technologique. Face aux exigences croissantes de la société, les décisions des responsables politiques en termes d'aménagement de l'espace, de construction ou de réglementation doivent tenir compte des contraintes liées aux risques. Dans ce contexte, le danger principal est celui de réponses mal calibrées, soit par sous-estimation des risques réellement encourus, soit par surévaluation de ces mêmes risques et 'sur-réaction', inefficace sur les plans économique et pédagogique.

Des réponses techniques, juridiques ou réglementaires adaptées nécessitent une appréhension globale de ces questions par les décideurs et une éducation de la population, reposant sur la mise à disposition et la diffusion des informations élaborées. Etant donné la complexité des systèmes technico-naturels dans le domaine des risques, les décisions doivent reposer sur des connaissances expertes dont la formalisation se heurte encore à de nombreux écueils scientifiques.

Le secteur du Génie Civil, parce que les ouvrages sont soumis aux risques (incendies, explosions, mouvements de terrains...), parce qu'ils peuvent être une source de danger (barrage, centre de production d'énergie...) ou parce qu'ils participent à la protection, occupe une position centrale en termes de maîtrise des risques.

Les niveaux de protection que la population souhaite voir mettre en application dans le domaine de la protection civile sont très élevés et des risques encore acceptés hier apparaissent aujourd'hui intolérables<sup>12</sup>. Si le risque de décéder du fait d'un effondrement de structure est plus de cent fois plus faible que celui de mourir d'un accident de la route, ce risque est-il acceptable ou encore trop élevé ? Combien est-on prêt à payer pour le réduire et de quelle manière ?

Aux risques attachés aux événements spectaculaires (séismes, inondations, incendies, explosions...), s'ajoutent les risques plus diffus (amiante, peinture au plomb, radon...) et ceux à conséquences moins dramatiques (pollutions diffuses dues aux fuites des réseaux enterrés, fissuration des pavillons par tassement des fondations...), dont les conséquences tant

<sup>12</sup> Aux Pays-Bas, la conception des digues protégeant le pays des inondations a même fait l'objet d'une Loi qui fixe le niveau de sécurité visé, exprimé en termes de probabilité de défaillance. Or, les progrès scientifiques récents montrent qu'une probabilité égale pour toutes les régions du pays n'est pas équitable et que la Loi devrait être amendée.

environnementales qu'économiques ne peuvent être négligées<sup>13</sup>. On ne doit pas oublier non plus les risques découlant du vieillissement irréversible de notre patrimoine bâti<sup>14</sup>.

La mise en oeuvre de choix éclairés dans le domaine de la maîtrise des risques en génie civil suppose, entre autres :

- la **mise à disposition et la diffusion de données** pertinentes, dont l'**acquisition** fait encore souvent défaut,
- le traitement scientifique de ces informations et l'**élaboration de modèles prédictifs**, dans une perspective pluridisciplinaire (physique et génie civil, environnement, mathématiques, économie, théorie de la décision...),
- la **formation** des futurs experts du domaine, que ce soit au sein des organismes publics ou des entreprises, et l'éducation du public.

La culture dominante du Génie Civil, essentiellement 'mécanistique', pour des raisons historiques, impose de développer ces réflexions à la fois au sein et à l'extérieur de la communauté professionnelle concernée.

Il existe déjà un G.I.S. 'Risques collectifs et gestion des crises', dédié principalement aux aspects relatifs aux sciences humaines. La mise en place d'un G.I.S. 'Risque et Génie Civil', approfondissant aussi les questions relatives aux aspects technologiques et doté de moyens adéquats, nous semble être une voie adaptée pour structurer la réflexion, définir les domaines où les percées scientifiques et techniques semblent les plus nécessaires, et permettre à moyen terme des avancées significatives dans ce domaine de la connaissance.

### 3. Description de MR-GenCi

MR-GenCi sera un Groupement d'Intérêt Scientifique assurant son propre financement. Il animera le suivi technique, l'évaluation des axes de recherche prioritaires en matière de risques et établira des rapports pour servir et coordonner de futurs Groupes de travail. MR-GenCi aura pour objet de contribuer plus particulièrement à :

- une meilleure appréhension des problèmes de risque en génie civil, par les spécialistes et par le public ;
- la mise en place de stratégies scientifiques pluridisciplinaires (physique et mécanique, matériaux, environnement, technologie, cindynique, sciences de la décision...);
- une meilleure évaluation des incidences des risques par les ingénieurs, et une justification des recommandations ou des règles élaborées dans un cadre réglementaire (national ou européen) ;
- une meilleure traduction et prise en compte dans les réglementations et dans les pratiques professionnelles.

Pour le développement de ces programmes, MR-GenCi procèdera par des consultations thématiques et par des appels à propositions ciblés auprès des organismes de recherches et des entreprises.

---

<sup>13</sup> Les dommages causés aux pavillons par les 'argiles gonflantes' constituent la première source d'indemnisation au titre du régime Cat Nat. Le coût annuel des sinistres liés aux fondations sur les maisons individuelles est de l'ordre de 30 M€ (ref.Sycodès).

<sup>14</sup> Les décisions de réparation dans l'urgence d'ouvrages stratégiques dont on maîtrise mal le vieillissement et dont le comportement futur est incertain peut avoir des répercussions économiques non négligeables. Tel est le cas actuellement du Pont d'Aquitaine à Bordeaux.

MR-GenCi sera un Groupement d'Intérêt Scientifique composé :

- d'un Conseil d'Administration du GIS (CAG) constitué par des membres institutionnels de droit (Ministères, etc.) et de membres associés (organismes de recherches, entreprises, sociétés savantes, etc.). Le CAG oriente la stratégie, sélectionne les thématiques à examiner, valide leur sélection finale, approuve le budget de fonctionnement, nomme les membres du Conseil Scientifique et Technique et décide de l'admission ou de l'exclusion des membres ;
- d'un Conseil Scientifique et Technique (CST) dont les membres sont nommés par le CAG. Le CST organise la sélection et l'enrichissement des réflexions scientifiques et techniques, la définition des thèmes de recherche et des priorités, les études spécifiques, la mise en perspective ;
- d'un Conseil de Veille Technologique (CVT) servant de point d'appui au CAG et au CST pour l'action internationale, les relations avec les associations et sociétés savantes et l'écoute externe.

Le CST peut s'appuyer sur des commissions (ou groupes de travail) constituées de 5 à 8 membres proposés par le CST. Ils dressent des bilans sectoriels et proposent des axes de recherche. Ils pilotent des études et coordonnent des consultations sur des domaines d'investigation ciblés. Ils élaborent des synthèses de résultats et établissent des rapports sur les priorités. Ils alimentent une base de données. Le CST rend compte des travaux des Commissions au CAG.

Etre membre du GIS MR-GenCi permet de participer à la définition de la stratégie de recherche, d'orienter l'affectation des financements, d'accéder à l'information « première » et de contribuer par la suite aux groupes de recherche spécifiques qui en émergeront.

ANNEXES 2 A 6. RAPPORTS SCIENTIFIQUES DETAILLES PAR THEME
---

**ANNEXE 2****THEME 1 : PERCEPTION ET REPRESENTATION DES RISQUES****ANNEXE 3****THEME 2 : THESAURISATION ET DIFFUSION DE LA CONNAISSANCE****ANNEXE 4****THEME 3 : APPROCHE GLOBALE DU RISQUE DE PROJET****ANNEXE 5****THEME 4 : RETOUR D'EXPERIENCE :  
DIAGNOSTIC, SURETE, RISQUE ET GESTION DES OUVRAGES ET DES SITES****ANNEXE 6****THEME 5 : STRATEGIE DE PREVENTION DES RISQUES :  
COMPLEXITE, ORGANISATION ET DECISION**

## ANNEXE 2

## Thème 1

**PERCEPTION ET REPRESENTATION DES RISQUES**

*Ce texte a été élaboré sous la responsabilité de*

- ☞ Mme Arnal (BRGM)
- ☞ Mme Devanssay (Univ. Paris 5)

**Rappel des objectifs du groupe de travail**

- Organisation des concepts et du vocabulaire.
- Appréhension, acceptation et perception des risques.

Les problématiques « risques » (naturels, industriels, sanitaires) ont été traitées par de nombreuses disciplines qui se sont forgées leur propre vocabulaire et leurs propres concepts à partir de leurs méthodologies de travail et de leurs objectifs. On constate une véritable difficulté de compréhension des différents acteurs sur ce que recouvrent des termes similaires utilisés dans des contextes différents. Chaque discipline aujourd'hui travaille en utilisant ses propres référents; ces termes ne sont véritablement compris que par les initiés ; et chaque initié se plaint de l'erreur de terminologie créée par son voisin.

D'autre part, on sait que l'évaluation du risque (aléa x vulnérabilité) dépend de la représentation individuelle et collective de la menace ; ces représentations sont aujourd'hui peu ou mal explorées. Les mesures de prise en compte du risque sont cependant naturellement dépendantes de ces représentations.

**Les travaux proposés**

Deux axes de travail ont été définis par le groupe :

- Exploration des significations attribuées aux principaux concepts selon les différentes professions du Génie Civil.
- Etude des perceptions et de l'acceptation des risques dans les professions du Génie Civil et comparaison avec des échantillons de population.

Le groupe de travail s'est donné pour premier objectif non pas tellement de clarifier les vocabulaires mais de faire échanger entre les différents partenaires de la gestion des risques leurs interprétations de ces termes.

Un des enjeux de la démarche est de faire prendre conscience de l'importance des pré requis recouverts par le vocable et de la nécessité, pour pouvoir communiquer, à la fois de comprendre ce que soi-même on implique en utilisant le terme, et ce à quoi nos interlocuteurs se réfèrent.

### ***Les actions réalisées en 2003-2004***

#### a) Elaboration des outils de mesure de la connaissance des vocabulaires

Plusieurs types de questionnaires ont été élaborés à partir de différentes consultations et ont fait l'objet de pré-tests ; ils comportent tous deux parties : *une partie générale* visant à évaluer la connaissance des principaux termes utilisés et *une partie thématique*, selon les risques, en fonction des interlocuteurs concernés : inondations, mouvements de terrains, risque sismique...

#### b) Tests des questionnaires

Plusieurs séries de questionnaires ont été utilisées pour réaliser le pré test.

- La première série (Q1A) a été répondue par 19 étudiants en DESS de l'Université Bordeaux1, non familiarisés avec les concepts de risques (de 22 à 26 ans - 16 garçons pour 3 filles).

- La seconde série (Q1B) a été répondue, en marge d'une conférence scientifique et technique, par 15 professionnels dont 2 secrétaires, 3 experts d'assurance, 6 géotechniciens, 2 hydro-géologues, 1 architecte, 1 conseil en ingénierie (de 30 à 58 ans - 12 hommes et 3 femmes).

- Une troisième série de questionnaires (Q2) a été proposée à des étudiants architectes en 4<sup>ème</sup> année d'études, à l'occasion d'un séminaire de sensibilisation aux risques. Deux formules de questionnement avaient été utilisées pour mesurer l'impact de la formulation de certaines questions sur les réponses. Sur les 20 questionnaires distribués 8 seulement ont été remplis et sont utilisables.

- Enfin, une nouvelle série de questionnements (Q3) est en cours, par un stagiaire, à partir d'un recentrage sur le monde des différents professionnels impliqués dans l'acte de construire, depuis les promoteurs jusqu'aux collectivités locales. Les questionnaires ont gardé la première partie générale et se sont plus particulièrement focalisés sur l'utilité des études géotechniques pour la construction.

#### c) Analyse

L'analyse des deux premiers pré-tests a été réalisée au Laboratoire de Psychologie Environnementale ; ils ont fait l'objet d'un rapport provisoire. Les résultats ont été discutés avec C. Arnal et des modifications ont été introduites. Les différents questionnaires sont donnés en Annexe 2-A.

## *Présentation des résultats du pré test*

Les résultats du pré test (séries Q1A et Q1B) ont été présentés à Aussois lors d'un séminaire scientifique organisé par le GIS MR-GenCi en avril 2004. Ils portaient sur l'ensemble des questions générales et donnaient quelques informations concernant le risque inondation et mouvement de terrain. et ont conduit à la rédaction des questionnaires Q2.

Dans ce document, qui ne reprend que l'analyse des questions générales, le terme Q1A est utilisé pour les réponses des jeunes géotechniciens ; le terme Q1B pour celles des professionnels ; des commentaires sur les questionnaires remplis par les architectes sont précédés du terme Q2.

### *Aperçu théorique :*

#### **Pourquoi s'interroger sur les représentations sociales du risque des acteurs du génie civil ?**

Le risque est un terme ambigu et évolutif selon les sociétés ; il est différemment interprété selon les activités des différents groupes de professionnels. Pour qualifier ces interprétations de la réalité, on parle en psychologie sociale, depuis Moscovici (1961), de « représentations sociales ». L'exploration et la connaissance de la « vision du monde » que les individus ou les groupes portent en eux et utilisent pour agir ou prendre position est reconnue comme indispensable pour comprendre la dynamique des interactions sociales et éclairer les déterminants des pratiques sociales (C. Abric). Pour la psychologie sociale, il n'existe pas une réalité objective mais la théorie pose que « toute réalité est reconstruite par l'individu ou le groupe, intégrée dans son système de valeur, dépendant de son histoire et du contexte social et idéologique qui l'environne ». On définit la représentation comme une forme de connaissance socialement élaborée et partagée, ayant une visée pratique et concourant à la construction d'une réalité commune à un ensemble social (Jodelet).

Explorer la définition du risque des différents acteurs du génie civil apparaît donc comme une première étape pour la compréhension des attitudes face aux prises de risque de ces acteurs. Il s'agit d'étudier une référence implicite, spontanée et souvent élaborée de façon peu consciente, de ce que les différents acteurs du génie civil mettent sous la terminologie actuelle concernant les risques ; les vocables principaux sont peu nombreux au demeurant et devraient permettre une mise en commun rapide des concepts utilisés.

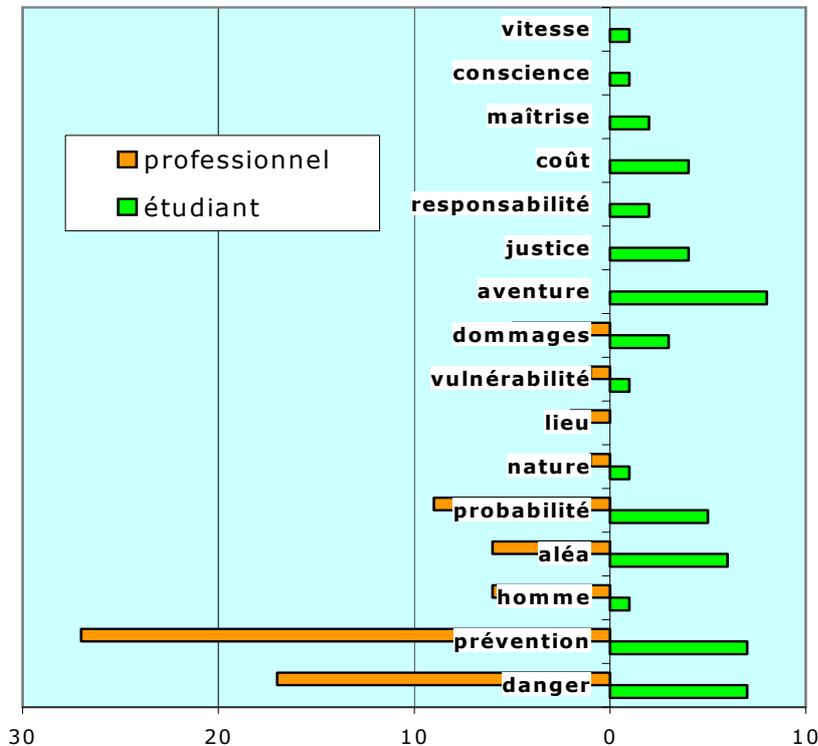
Les méthodologies des sciences sociales, utilisées pour ce type d'exploration, sont nombreuses ; on a repris dans ce questionnaire, la méthode la plus simple qui procède par associations d'idées. On a donc demandé dans une première question à nos interviewés de « donner les quatre premiers mots qui viennent à l'esprit spontanément lorsqu'on évoque le mot risque ».

Dans les questionnaires architectes (Q2) la question a été reformulée de la manière suivante : « Selon vous quels sont les termes liés aux risques spécifiques à votre métier ? ». L'impact de cette formulation est évident : alors que la première formulation induit des termes comme danger, menace, et renvoient à une gamme de situations étendue et diverse, la seconde formulation fait apparaître des termes comme règlements, pollution, terrorisme, etc. ; on est tout de suite dans du circonstanciel et du professionnel et non plus dans du conceptuel.

Il faudra donc, pour l'enquête définitive, choisir une formulation et s'y tenir, en sachant que cette formulation implique des réponses très différenciées.

### Question 1.

#### *Les associations spontanées au mot risque*



*Associations spontanées dans les échantillons Q1A (orange) et Q1B (vert)*

#### Nombre d'items :

Q1A = 75 mots recueillis pour 19 personnes : il y a eu respect de la consigne des 4 mots

Q1B = 53 mots recueillis pour 15 personnes ce qui indique un respect un peu moins évident (3,8) de la consigne.

Selon la méthode utilisée (Michel Louis Rouquette), le classement des termes recueillis se fait en fonction de quatre catégories : *le lexique, la praxie, l'attribution et les conséquences*.

Le « lexique » permet de classer les vocables utilisés par les interviewés en trois catégories : termes synonymes, termes définitoires et termes antagonistes.

La praxie comporte quatre sous catégories : les acteurs, les actions, les objets et les outils.

On parle d'attribution pour désigner les qualifications qui accompagnent la représentation.

L'attribution comporte deux catégories : la caractérisation et le jugement.

Les conséquences du risque s'analysent le plus souvent en termes de coûts et dommages.

#### Echantillon Q1A :

Synonymie : risque = *danger, menace* ; c'est la réponse de 17 personnes

Cependant les réponses les plus nombreuses renvoient à l'action nécessitée par le risque ; *prévention* = 27. Le terme de prévention se situe dans la catégorie praxie, c'est l'action à entreprendre face aux risques.

L'échantillon se situe d'une part massivement dans la catégorie synonymie d'une part et dans la catégorie praxie d'autre part ; ces actions se rapportant généralement à la prévention elles s'accompagnent de mentions concernant le PPR et l'aménagement ainsi que l'information sur les risques.

*Probabilité* : 9 personnes parlent de probabilité ; le terme se classe dans la catégorie « définitoire » du lexique ; la notion de probabilité est bien représentée (1 sur 2)

L'origine du risque est plus souvent l'homme que la nature. Les conséquences du risque sont des *pertes et des destructions*.

### Echantillon Q1B :

Le stéréotype risque = *danger* est moins fortement représenté (1 sur 2) que dans l'échantillon précédent ; on observe une plus grande variété des termes utilisés qui peut s'expliquer par le fait que les étudiants de l'échantillon Q1A se situaient dans le cadre de leur formation universitaire, alors que les professionnels sont dans un cadre d'échanges professionnels. Le biais de passation paraît intéressant, les étudiants paraissant avoir cherché « à bien répondre ». Si la notion de probabilité est assez peu exprimée, la notion d'aventure la relaie. On voit apparaître la notion de responsabilité et de prise de conscience qui n'existait pas dans l'échantillon des étudiants.

Les actions se situent dans le monde professionnel du traitement du risque : on parle *d'expertise, de justice ou de faute* ; mais on trouve aussi la notion de *maîtrise du risque*.

La notion de prévention paraît liée à celle d'assurance.

Les attributions, c'est à dire les causes de ces risques, sont à la fois anthropiques et naturelles.

Les conséquences sont *des dommages* mais aussi du *stress et de la souffrance*.

Les représentations du risque des deux groupes paraissent, à partir de ce premier test, assez contrastées. Si l'on reprend l'échantillon Q2, avec le questionnaire dans sa formulation professionnelle, on voit apparaître chez les architectes l'assimilation du risque au *défait de construction*. La remarque est intéressante et met en évidence une des préoccupations actuelles du monde de la construction et particulièrement des architectes. La notion est fortement liée à celle de responsabilité.

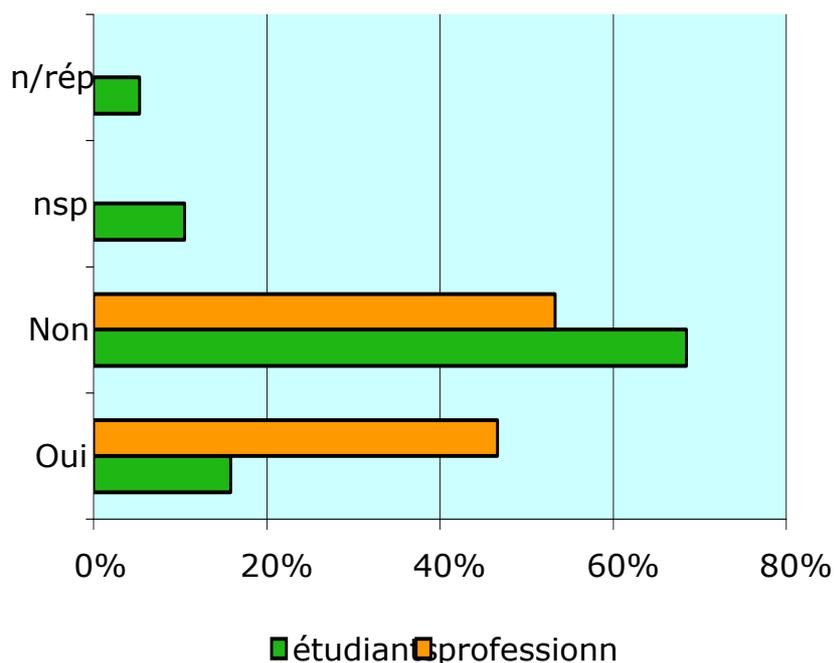
Le pré test met en évidence l'impact de la formulation des questions, d'une part, mais aussi la sensibilité au terme « risque » et ses nombreuses liaisons dans les milieux professionnels.

### **Question 2.**

*Selon vous, parle-t-on trop des risques aujourd'hui ?*

L'objectif de cette question est de mesurer la visibilité perçue du thème risques dans l'information générale du public.

	étudiants	Professionnels
Oui	3	7
Non	13	8
Nsp	2	0
Nr	1	0



### - On en parle trop

On constate une différence importante entre les réponses données par les étudiants et celles des professionnels :

. Chez les étudiants trois personnes seulement *estiment qu'on en parle trop* : ils développent l'argumentaire suivant : le risque est inhérent à l'action humaine les médias donnent des visions peu crédibles des risques ; elles opèrent des distorsions de l'information de façon constantes.

. Chez les professionnels la moitié de l'échantillon trouve qu' « on en parle trop », l'autre moitié défendant la position inverse. Il faut au contraire en parler disent-ils : Cela correspond, pensent certains, à un principe de réalité : les risques existent. Cela correspond également au développement dans les mentalités du principe de précaution : il faut aujourd'hui se protéger de tout. Il s'agit d'une référence assurantielle implicite : « risques couverts ».

### - On n'en parle pas assez

. Chez les étudiants, la majorité d'entre eux estime *qu'on n'en parle pas trop*. L'argumentaire développé fait état d'un état d'ignorance du public face aux risques auxquels il peut être exposé ; il y a un manque d'information lié à la crainte de créer de la panique, mais aussi à des enjeux politiques ou économiques. L'information sur les risques a tendance à se faire postérieurement à sa réalisation et non pas à titre préventif.

. Chez les professionnels, l'argumentaire reprend l'idée d'une ignorance des risques liée à la complexité de la société actuelle. Mais cette ignorance est aussi *une ignorance construite* et volontaire pour éviter de freiner des initiatives et *mettre à couvert la responsabilité* de certains acteurs. L'idée force est que la connaissance des risques peut seule en permettre la *maîtrise*.

Il s'agit là d'une position rationaliste dont on sait depuis les travaux de Slovic et Sjöberg, combien elle est loin de la réalité. Connaître les risques n'est jamais suffisant pour adopter les conduites les plus appropriées.

**Question 3.** Les définitions de la vulnérabilité :  
*quelle serait selon vous la meilleure définition de la vulnérabilité ?*

Etudiants	vulnérabilité =	liée à	conséquences
4	Exposition	aléa	dommages
4	impuissance		
4	Probabilité	accident	
2	risque/accident		
2	Niveau	intensité	-
1	Fragilité		

Professionnels	vulnérabilité =	liée à	conséquences
2	Exposition	activité	risques
4	Faiblesse		
2	Fragilité	Impuissance, innée	
2	Evaluation	Désordres	dommages
2	Sensibilité	Risque potentiel	
1	Irresponsabilité	Manque de défense	
1	Capacité	dommage	

Les répondants ont toujours tenté de justifier leur définition en situant cette notion de vulnérabilité dans les contextes qu'ils connaissent (caractère circonstanciel), d'une part, et d'autre part, en insistant sur les conséquences de cette vulnérabilité. Cette formulation de la question met en évidence un schéma de construction de la notion de vulnérabilité que la formulation adoptée dans les autres versions du questionnaire estompe. En affirmant que la vulnérabilité est le produit d'une exposition par rapport à un aléa, comme cela est dit dans la formulation de Q2, on supprime les notions d'impuissance, de fragilité qui certes sont du domaine des sentiments mais éclairent bien cependant le schéma de pensée sur lequel il est fondé.

Dans l'échantillon étudiant, quatre personnes seulement parlent *d'exposition à un aléa*. Pour les autres la vulnérabilité correspond à une fragilité, une impuissance ou une probabilité d'accident.

Chez les professionnels, la définition classique de la vulnérabilité n'apparaît pas ; deux personnes seulement parlent d'exposition à la menace ; la référence la plus intéressante est celle qui renvoie à une erreur de conception au départ, qui détermine une vulnérabilité contre laquelle on ne peut pratiquement rien faire.

Dans l'échantillon architectes, la reformulation de la question était la suivante : « on définit la vulnérabilité comme un niveau d'endommagement en fonction de l'intensité d'un événement ; êtes-vous d'accord avec cette définition ? Donnez votre propre définition. ».

Les résultats obtenus sont intéressants ; ils montrent le plus souvent une certaine insatisfaction à l'égard de cette définition ; spontanément l'interviewé définit deux sortes de risques, dans son métier : des risques induits liés à la conception de l'ouvrage et dans l'absolu, des risques extérieurs et donc imprévisibles ; la vulnérabilité dépendrait ici de la prévisibilité de l'événement. Pour un autre interviewé : « la vulnérabilité est présente en dehors de tout endommagement, elle peut être intrinsèque au bâtiment avant que ne se produise l'événement ».

**Question 4.**

*Critères permettant de qualifier un bâtiment d'enjeux ?*

Critères	Etudiants	Professionnels
Economique	12	13
Social	4	4
Technique	3	1
Géographique	2	1
Politique	1	2
Risque	2	1
Fonctionnalité		2
Stratégique		1

La notion d'enjeux telle que l'ont développée les géographes (d'Ercolle et Pigeon, Université de Chambéry) paraît très mal acquise. Pour ces auteurs, la notion d'enjeux se fait en référence à la définition du risque donnée par Fristch dans les années 1980, à savoir les éléments qui permettent à une société de faire face à une situation de crise : bâtiments administratifs où se prennent les décisions opérationnelles, casernes, hôpitaux, réseaux, etc. A cela on peut ajouter les bâtiments constituant le patrimoine local (cathédrale, musées, etc). La théorie actuelle insiste sur la nécessité de *la dispersion des enjeux* sur un territoire pour éviter qu'un seul événement ne réduise à l'impuissance la totalité des centres décisionnels, ce que l'on a vu lors du séisme de Kobé, au Japon, par exemple.

Chez les étudiants on observe 4 non réponses, ce qui est important par rapport aux réponses à d'autres questions. Il n'y en a que deux chez les professionnels mais l'un d'eux déclare ne pas « comprendre la question ».

Le *critère économique*, comme chez les professionnels, domine nettement le discours. La notion d'enjeux sociaux recouvre des réalités variées ; on aurait pu regrouper dans cette catégorie les notions d'enjeux stratégiques ou d'enjeux fonctionnels ; en les mettant en évidence on veut montrer la différence de vocabulaire entre les termes utilisés par les jeunes et ceux utilisés par les professionnels. Pour ceux qui ont répondu, la notion d'enjeux est foisonnante et recouvre les divers catégories citées : plus de deux réponses par interviewé en moyenne.

Les enjeux techniques paraissent un peu plus importants dans l'échantillon étudiant que dans l'échantillon professionnel. Dans l'échantillon Q2 en réponse à la formulation suivante de la question concernant la définition des enjeux : « Quels sont les éléments constitutifs de la notion d'enjeux dans votre domaine » on trouve cette réponse : « l'élément d'investissement en temps et en argent, mais *on ne prend jamais en compte la sécurité* et la qualité des gens qui y vivent ». On retrouve bien l'élément économique comme constituant la notion d'enjeu, assorti d'une critique implicite de la pratique actuelle des architectes.

**Question 5.**

*Qu'entendez-vous par aléa ?*

Chez les étudiants le terme « aléa » est pris dans son sens littéral et ne renvoie pas ou rarement à la notion anglo-saxonne de « hazards » traduite par « événement naturel » qui est maintenant admise de façon générale dans les milieux traitant du risque<sup>15</sup>.

Définition	Etudiants	Professionnels
Probabilité	11	4
Facteurs déclencheurs	3	4
Incertain/non maîtrisable	2	2
Zone à risque	1	3
Élément à contrôler		1
Anomalie		1
Force majeure		1

Deux personnes ne répondent pas à la question et déclarent ne pas savoir ; une personne se lance dans un discours compliqué et sans sens précis.

La définition de l'aléa comme « l'élément déclencheur » est intéressante mais inexacte dans la mesure où l'aléa peut exister en dehors de toute activité humaine. La définition est fondamentale pour les sociologues en particulier : c'est le fait de l'installation humaine qui transforme ces « hasards » liés à des forces naturelles, comme le dit la loi suisse, en phénomènes destructeurs. L'exemple classique est celui du séisme en Alaska : le phénomène n'a que des caractéristiques physiques et pas d'impact social. Le vocabulaire utilisé en France est inutilement dramatisant et créateur de biais transformant « les forces de la nature » (Suisse) en phénomènes négatifs.

La définition de l'aléa comme une probabilité d'exposition à un risque, qui domine dans cet échantillon paraît une bonne acquisition à conforter.

Chez les professionnels on trouve deux définitions particulièrement précises : « l'événement potentiel naturel ou d'origine anthropique » ; une définition plus élaborée : « configuration naturelle exceptionnelle non maîtrisée par les moyens de reconnaissance mis en œuvre ». C'est à partir de l'aléa que chez les professionnels on définit « une zone à risque », ce qui resitue la question dans le domaine assurantiel.

**Question 6.**

*Quelle importance accordez-vous à la notion de probabilité ?*

. La notion de probabilité a donné lieu à de nombreux développements chez les étudiants. Elle est l'instrument de mesure du risque, c'est à dire une évaluation permettant de classer les risques, de les qualifier de définir des niveaux, de décider des mesures à prendre et des moyens à mettre en œuvre.

Définie comme *la fréquence* de réalisation d'un risque, c'est en même temps une notion « traître et relative », disent les interviewés, parce que souvent *subjective* ; elle doit compenser les lacunes des connaissances qui ne permettent pas une prévision certaine ; c'est une incertitude.

<sup>15</sup> Les aléas à la source des risques en génie civil ne sont cependant pas tous d'origine naturelle. Ce point est plus précisément analysé dans le Thème 3.

Les réponses des professionnels sont plus brèves et moins explicites ; toutefois on y retrouve le même courant de pensée dual. D'une part, la probabilité est une mesure du risque, c'est une donnée statistique fondée sur l'observation de fréquences ; elle est l'outil essentiel de la prise de mesures ou de la définition de moyens ; en ce sens elle permet une analyse rationnelle là où souvent le risque déclenche des inquiétudes infondées relevant de rumeurs.

D'autre part, c'est pour les professionnels également une notion *traître, insuffisante et suspecte* : « cela n'arrive qu'une fois sur un million et pourtant cela s'est produit ».

### **Question 7.**

*Dans votre domaine, sur quelles données et quelles méthodes établit-on une période de retour ?*

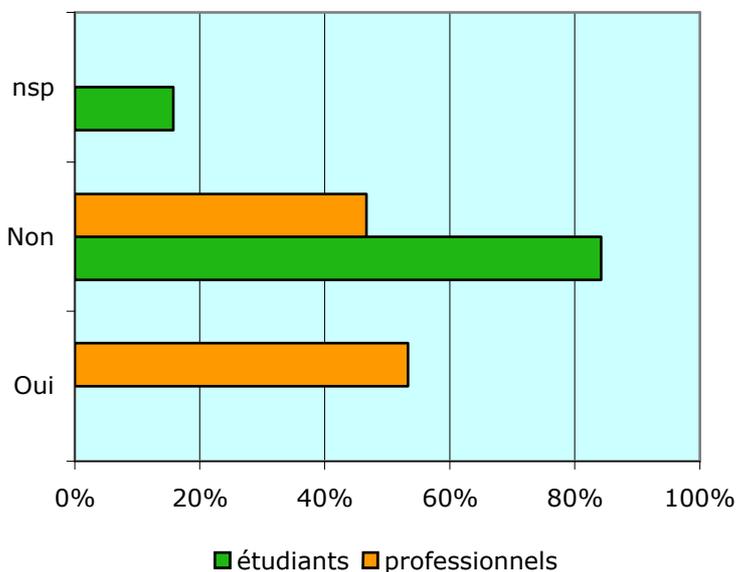
La période de retour, chez les étudiants, paraît une notion bien acquise. A partir d'un recueil de données obtenues de façons diverses selon les disciplines (géologie, histoire, observations empiriques, sondages) on applique une méthodologie statistique disent-ils, qui va permettre des extrapolations conduisant à « la loi  $\text{Log}1/T$  ». Les termes utilisés sont homogènes dans l'échantillon. Dans l'ensemble l'échantillon se réfère au risque inondation.

Chez les professionnels 5 personnes ne répondent pas (dont les deux secrétaires). La notion de période de retour semble peu utilisée professionnellement. Pour un interviewé, il s'agit du cycle de vie d'un bâtiment ; la notion n'est pas assez utilisée lors de la conception des ouvrages, remarque un interviewé. Pour trois interviewés, c'est *une référence classique* dans le domaine des statistiques, mais ces statistiques sont relatives. En géotechnique, elles sont difficiles à saisir et dépendent de l'expérience et des connaissances de tous les intervenants. Pour certains il s'agit *d'une intuition* à partir de l'expérience personnelle, les données statistiques restant très relatives.

Il est clair que la notion de période de retour s'applique plus directement aux risques sismiques, avalanches et inondations qu'aux problèmes de glissements de terrain ou de sécheresse. On rappelle que cette notion, en matière d'inondation fait l'objet de controverses d'experts (cf. Crues du Gard 2002 Retour d'expérience, MEDD, La documentation française 2004).

**Question 8 :**

*Pensez-vous qu'il soit possible de dire toute la vérité sur les différents risques que nous connaissons ?*



. L'échantillon étudiant, dans sa grande majorité, estime qu'on ne peut pas dire toute la vérité sur les risques . Trois personnes seulement hésitent et préfèrent répondre qu'elles ne savent pas.

. Les réponses dans l'échantillon professionnel sont équilibrées : pour 8 personnes qui pensent qu'il est possible de dire la vérité, 7 pensent le contraire. Il n'y a pas de réponse d'hésitation.

Non ce n'est pas possible			Oui c'est possible		
Motifs	Q1A	Q1B	Motifs	Q1A	Q1B
Panique, Désordres	13	4	Transparence /démocratie	1	4
Crédibilité des Responsables	4		Décision motivée		3
Incompréhension du public	4		Préparation suffisante		2
Défaut de connaissances	4	1	Meilleures solutions		1
Enjeux économiques/politiques	3				
Quelle vérité ?	1	1			
Rôle des Sachants			Responsable du Maître d'ouvrage		1

Les argumentaires développés :

**Non ce n'est pas possible de dire la vérité :**

Chez les étudiants : la grande majorité des arguments développés concernent le problème de *gestion des réactions sociales* face à la connaissance des risques ; la vérité risquerait de créer de la panique et des désordres publics. L'argument est lié à la crédibilité des responsables qui serait mise en cause si l'événement redouté ne se produisait pas ; la non préparation du public à entendre ce type de vérité, liée à l'incompréhension des problèmes techniques par le public. Pour un interviewé, il n'y a pas à proprement parler de vérité absolue à dire dans ces domaines dans la mesure où il y a un manque de connaissance important. Enfin les enjeux économiques et politiques sont trop importants pour que toute la vérité puisse être dite.

Chez les professionnels : la moitié de l'échantillon seulement pense qu'il n'est pas possible de dire la vérité. Là aussi, sans aller jusqu'à la notion de panique, c'est l'effet déstabilisant de la vérité qui est mis en avant le plus fréquemment, liée à l'effet pervers que pourrait avoir la vérité. Le second argument est lié à la relativité des connaissances ; il permet de mettre en avant le rôle des sachants (experts) vis-à-vis de la population à laquelle une information « modérée » devrait être donnée.

### Oui c'est possible de dire la vérité sur les risques auxquels est soumise une population

Chez les étudiants, un seul répondant évoque la notion de *transparence* ; ce qui est bon à dire, pense-t-il, ce sont les démonstrations et les conséquences de ces risques ». L'information la meilleure déterminerait les comportements les mieux adaptés. On sait combien cette position est illusoire. Depuis des années toutes les enquêtes montrent que ce n'est pas la connaissance du risque qui entraîne des comportements adaptés mais que c'est l'évaluation subjective des conséquences pour soi-même qui est à l'origine de la prise de mesures de prévention à condition que les moyens de se protéger soient considérés comme disponibles et accessibles.

Chez les professionnels, dire la vérité est une *question de démocratie* qui exige de la transparence. Une décision doit être motivée de préférence par les sachants. La prise de risque doit se faire en connaissance de cause. Pour deux d'entre eux, la préparation du public et sa compréhension des problèmes est suffisante ; si elle ne l'était pas, estime un interviewé, le premier devoir des sachants serait de former le public. Enfin le maître d'ouvrage doit être informé des risques et devrait pouvoir les assumer en connaissance de cause ».

Comme on l'a dit cette question permet de confirmer ou d'infirmer les réactions spontanées à la question 2 « pensez-vous que l'on parle trop des risques ». La reformulation du Q2 était la suivante : « pensez-vous que la communication sur les risques soit suffisante ? » Non, malheureusement, répond l'un des architectes ; il n'y a pas assez de communication dans notre métier ; *le niveau de responsabilité est tellement élevé qu'il y a un besoin de le cacher* ».

### Question 9 :

*Donnez votre propre définition du terme incertitude*

Définitions	Etudiants	Professionnels
Doute		4
Probabilité	5	
Indétermination	5	2
Incertain	3	4
Quantification de l'erreur	2	
Incompréhension du phénomène	1	
Inexistant		1
Variabilité d'une donnée		1
Remise en question		2

- Chez les étudiants

La première réponse est un synonyme du terme incertitude : l'incertitude, c'est ce qui est incertain.

La définition de l'incertitude est ensuite intimement liée à la notion de probabilité ; c'est une probabilité faible difficilement mesurable ou quantifiable ; c'est le côté inconnu des paramètres.

D'un point de vue mathématique, assez rarement utilisée dans le questionnaire : « c'est une quantification de l'erreur ».

- Chez les professionnels, on trouve une grande diversité dans les termes utilisés. Le terme le plus souvent cité est celui de doute qui est parfois allié à l'incertitude existentielle et à la nécessité de limiter les incertitudes dans les rapports sociaux. Pour un autre c'est une remise en cause permanente.

Comme chez les étudiants l'incertitude est ce qui est incertain.

On trouve la définition : « une variabilité non maîtrisée d'une donnée » ce qui est une belle définition.

La formulation de la question dans le Q2 est probablement à privilégier ; elle est la suivante : « dans votre approche des risques travaillez-vous sur les incertitudes et leurs représentations ? » ; à cela les architectes répondent oui nécessairement, nous devons projeter la vie du bâtiment et des usagers dans le futur, c'est notre métier ». Partant de cette question reformulée, les entretiens pourraient permettre de bien développer cette notion d'incertitudes.

### **Question 10 :**

*Dans votre pratique professionnelle comment intégrez-vous la notion de comportements humains ?*

La question 10 n'a été posée qu'à l'échantillon professionnel, l'échantillon étudiant n'ayant pas encore pour la plupart d'expérience dans ce domaine.

La majorité de l'échantillon constate que la prise en compte des comportements humains est fondamentale ou essentielle dans l'exercice de leur métier, même si elle peut être variable ou irrationnelle.

Cette prise en compte *est essentielle* car les comportements humains sont à l'origine des accidents pour deux interviewés.

Elle est essentielle pour permettre la négociation, l'anticipation et la transmission d'information ; on a dit qu'il était nécessaire de « savoir comment allaient réagir ceux qui vont recevoir des données ». et encore : « L'ingénierie est au service de la population ».

La prise en compte des comportements humains se réalise grâce à certaines qualités de savoir vivre ; il faut savoir valoriser ceux auxquels on s'adresse.

### **En conclusion**

Une discussion sur les objectifs de l'enquête devrait avoir lieu avec les autres groupes de travail : souhaite-t-on s'accorder sur *une* terminologie ou s'interroge-t-on sur ce qu'évoque cette terminologie pour les différents acteurs du Génie Civil ?

Les différents questionnaires utilisés ont montré à la fois leurs limites, l'impact de la formulation des questions sur les résultats recueillis, et néanmoins leurs possibilités d'utilisation dans un double objectif : explorer les représentations du risque des acteurs du génie civil, et mettre en évidence des acceptions communes d'une certaine terminologie.

On préconise une refonte des questionnaires Q1A et Q1B, en utilisant certaines formulations de Q2.

Par ailleurs un listing des cibles potentielles pour mener à bien l'enquête a été partiellement réalisé<sup>16</sup>. Des documents relatifs au vocabulaire du risque ont également été rassemblés et figurent en Annexe 2B<sup>17</sup>. Une stagiaire du Laboratoire de Psychologie Environnementale est susceptible de commencer les entretiens sur un panel représentatif constitué à l'avance, dès le début septembre.

---

<sup>16</sup> Les cibles peuvent être définies à partir d'une analyse du champ que constitue le génie civil et des professions qu'il concerne :

- (a) Quels sont les métiers du génie civil et comment les classer ?
- (b) Type d'organisation et type d'activité exercée dans l'organisation
- (c) Type de risques auxquels ils sont amenés à s'intéresser : naturels, industriels, technologiques, biologiques, sanitaires, terrorisme...
- (d) Thèmes d'études : études de sols, études de structures, études des systèmes (réseaux), concepteurs, aménageurs, designers.

<sup>17</sup> Il ne s'agit là que d'un travail tout à fait préliminaire, qui a été mené en parallèle au sein du Thème 3. Certaines divergences importantes entre les significations attachées à de mêmes vocables par des acteurs différents sont analysées en introduction du projet scientifique (p. 34).

**ANNEXE 2-A : QUESTIONNAIRES RISQUES**

VERSION INITIALE (Q1A ET Q1B)

**Questions générales**

- 1 A quoi vous fait penser le mot risque ? (donnez les quatre premiers mots qui vous viennent spontanément à l'esprit)
- 2 2.1 Selon vous parle-t-on trop des risques aujourd'hui ?  
oui /\_ / non /\_ / ne sait pas /\_ /  
2.2 Pourquoi ?
- 3 Quelle serait, selon vous, la meilleure définition de « la vulnérabilité » ?
- 4 Selon vous, à partir de quels critères qualifie-t-on un bâtiment ou une installation d'« enjeux » ?
- 5 Qu'est-ce que vous entendez par aléa ?
- 6 En matière de risques naturels ou industriels, quelle importance accordez-vous à la notion de « probabilité » ?
- 7 Dans votre domaine, sur quelles données et quelles méthodologies établit-on une « période de retour » ?
- 8 8.1 Pensez-vous qu'il soit possible de dire toute la vérité sur les différents risques que nous connaissons ?  
oui/\_ / non /\_ / ne sait pas /\_ /  
8.2 Pourquoi ?
- 9 Donnez votre propre définition du terme « incertitude » ?
- 10 Dans votre pratique professionnelle, comment intégrez-vous la notion de « comportements humains » ?

QUESTIONS SPECIFIQUES : VERSION Q1B

**Mouvements de terrain – risques liés aux sols**

4.1 Selon vous, quelles sont les causes principales des mouvements de terrain susceptibles d'affecter le bâti ?

4.2. Pouvez-vous définir le terme de subsidence ?

4.3. Selon vous, quels sont les éléments qui permettent à un bâtiment de résister aux effets de la sécheresse ?

4.4. Qualifiez-vous les risques liés aux mouvements de terrain sous nos climats de risque naturel ?

tout à fait d'accord / \_ / moyennement d'accord / \_ / pas du tout d'accord / \_ /

Pourquoi ?

4.5. Est-il possible de définir une échelle de gravité des risques de mouvements de terrain ?

4.6. Aujourd'hui, vous considérez que le problème des désordres aux ouvrages causés par les mouvements de sols peut être techniquement résolu ?

oui / \_ / non / \_ / ne sait pas / \_ /

Pourquoi ?

4.7. En dehors des solutions techniques, voyez-vous d'autres types de solutions qu'il serait possible de mettre en œuvre ?

4.8. Pour vous, quels sont les principaux acteurs de la gestion des risques liés aux mouvements de terrain ?

4.9. Lorsque des désordres provoqués par des mouvements de terrain affectent le bâti, y a-t-il, selon vous, un ou des responsables ?

oui / \_ / non / \_ / ne sait pas / \_ /

Pourquoi ?

**Nom, prénom**

**Age**

**Champ professionnel**

**Date**

## QUESTIONNAIRE VERSION Q3

Ce questionnaire est utilisé au sein du Thème 5. Il s'adresse plus particulièrement à des Constructeurs de Maisons Individuelles. Des variantes de ce questionnaire ont été rédigées pour d'autres professions (pour les responsables au sein de collectivités, et pour les bureaux d'études techniques)

**Q1 A quoi vous fait penser le mot RISQUE ? (donnez les 4 premiers mots qui vous viennent spontanément à l'esprit)**

**Q2 Qu'est ce que vous entendez par ALEA ? Pouvez vous préciser en citant un exemple ?**

**Q3 Comment définiriez vous la vulnérabilité ?**

**Q4 Quels sont les enjeux liés à une construction, une installation ou un territoire ?**

**Q5 Quels sont, selon vous, les risques spécifiques liés à votre activité professionnelle ?**

**Q6 Dans votre activité professionnelle, tenez vous compte d'incertitudes ? Lesquelles ?**

**Q7 Quels sont les risques qu'il vous paraît plus ou moins important de prendre en compte dans votre activité professionnelle ?**

*(Hiérarchisez de 1 à 7 : " 1=plus important")*

- Naturels
- Technologiques
- Liés à la production ou à l'organisation
- Pour l'environnement
- Économiques ou financiers
- Juridiques
- Autres


**Q8 Vous arrive t-il de qualifier un risque d'acceptable ? Quels sont vos critères ?**

--

**Q9 Quels sont les principaux obstacles à la mise en place d'une politique intégrée de gestion des risques ?**

*(Hiérarchisez de 1 à 7 : " 1=plus important")*

- Difficulté à quantifier le risque
- Manque de définition précise des rôles et des responsabilités
- Réticences aux changements
- Faible perception des avantages liés à la mise en place d'une telle politique
- Méconnaissance des lois et réglementations
- Méconnaissance du risque pénal des dirigeants
- Insuffisance des ressources financières


**Q10 De quels acteurs diriez vous qu'ils sont créateurs de risque ?**

--

**Q11 Hiérarchisez ces risques associés aux sols ?**

*(Hiérarchisez de 1 à 7 : " 1=plus important")*

- Séisme
- Affaissement, effondrement
- Sécheresse (retrait et gonflement des argiles)
- Glissement de terrain (solifluxion, coulée de boue...)
- Tassement des sols environnants
- Entraînement hydrodynamique des matériaux fins
- Autres


**Q12 En tant que constructeur de maisons individuelles, avez-vous déjà été confronté à l'un de ces risques?**

Si oui, le(s)quel(s)?

- Séisme
- Affaissement, effondrement
- Sécheresse (retrait et gonflement des argiles)
- Glissement de terrain (solifluxion, coulée de boue...)
- Tassement des sols environnants
- Entraînement hydrodynamique des matériaux fins
- Autres


**Q13 En tant que constructeur de maisons individuelles, quels sont les outils et les procédures que vous utiliseriez pour identifier ces risques ?**

Séisme :

Affaissement, effondrement :

Sécheresse (retrait et gonflement des argiles) :

Glissement de terrain (solifluxion, coulée de boue...) :

Tassement des sols environnants :

Entraînement hydrodynamique des matériaux fins :

Autres :

**Q14 Comment procédez-vous pour traiter ou maîtriser ces risques ?**

--

**Q15 Pensez-vous que les études géotechniques ont une part importante dans la gestion et la maîtrise des risques de l'acte de construire ?**

Part très importante

Part importante

Part peu importante


**Q16 Avez-vous déjà fait appel à un géotechnicien ?**

O	N

*si non, passez à la question 20*

**Si oui, utilisez-vous la norme NF P 94-500 relative aux missions géotechniques ?**

O	N

Pourquoi ne l'utilisez-vous pas?

--

**Q17 Concernant cette norme, quelle mission ordonnez vous le plus fréquemment ?**

*(Hiérarchisez de 1 à 7 : " 1=plus fréquent")*

G0

G11

G12

G2

G3

G4

G5


**Q18 A quel moment d'un projet intégrez-vous les études géotechniques ?**

**Q19 Lors de la consultation, qui rédige l'appel d'offres, ou le marché ?**

Pouvez- vous nous donner quelques modèles de rédaction ?

**Q20 Pourquoi n'intégrez-vous pas d'études géotechniques dans votre projet ?**

*(Hiérarchisez de 1 à 4 : " 1=plus important")*

Études trop coûteuses

Manque de fiabilité des résultats

Difficultés d'ordonner des missions adaptées

Autres


**Q21 Qui gère alors l'adaptation du projet au sol et suit l'évolution du chantier ?**

Bureau d'étude béton

Personne

Autre (préciser)



**Q22 Lors de la consultation, qui rédige l'appel d'offres, ou le marché ?**

Pouvez- vous nous donner quelques exemples de rédaction ?

**Q23 Selon vous, quel serait la première mesure à prendre, aujourd'hui, pour faire diminuer les risques spécifiques liés au sol, en France?**

*Nous vous remercions du temps que vous avez consacré à cette enquête.*

## ANNEXE 2-B. DEFINITIONS RELATIVES AUX RISQUES

### Les définitions générales proposées par C. Arnal

- **Aléa** : Phénomène potentiellement dangereux (qui peut engendrer des dommages) caractérisé par des probabilités d'occurrence associées à des niveaux d'intensité, pendant une période de temps donnée. Remarque : le phénomène est une manifestation « théorique ». l'événement est une réalisation dans le temps et l'espace du phénomène : il existe nécessairement.

- **Domages** : conséquences d'un événement sur les biens, les personnes et les fonctions, exprimées en termes financiers, économiques, sociaux et environnementaux.

- **Eléments exposés** : Population, constructions et ouvrages, milieux naturels exposés à un aléa,

- **Enjeux** : La notion d'enjeu recouvre une notion de valeur, ou d'importance, c'est pourquoi la définition ci-après est proposée : éléments exposés caractérisés par une valeur fonctionnelle, financière, économique, sociale et/ou politique.

- **Intensité** : expression de l'agression d'un phénomène, évaluée ou mesurée par ses paramètres physiques. Elle intervient dans l'évaluation de l'aléa. Par exemple, pour le phénomène « affaissement », il peut s'agir de l'amplitude verticale du mouvement ou de la déformation maximale. Pour le phénomène « effondrement ou glissement de terrain », il peut s'agir du volume de matériau remanié.

Lorsqu'il n'est pas possible d'évaluer ces paramètres physiques, on peut alors recourir à des méthodes indirectes, basées sur l'importance de leurs conséquences potentielles en termes d'endommagement ou de dangerosité ou de l'importance des parades théoriquement nécessaires pour annuler le risque.

- **Risque** : Combinaison de l'Aléa, de la Vulnérabilité des enjeux et de leur Valeur, représentée par une probabilité de perte (biens, personnes..) pendant une période de temps et dans une région donnée.

- **Vulnérabilité physique** : aptitude d'un bien ou d'une activité à être plus ou moins affectés, en terme de perte ou d'endommagement, par la survenance d'un phénomène donné d'intensité donnée

- **Vulnérabilité sociale, économique, fonctionnelle** : niveau des conséquences prévisibles d'un phénomène sur les enjeux en termes sociaux, économiques ou fonctionnels

### Les définitions proposées par le TC32 de l'ISSMGE (extrait)<sup>18</sup>

**Acceptable risk:** A risk which everyone impacted is prepared to accept. Action to further reduce such risk is usually not required unless reasonably practicable measures are available at low cost in terms of money, time and effort.

**Consequence:** In relation to risk analysis, the outcome or result of a hazard being realised.

**Countermeasures:** All measures taken to counter and reduce a hazard or consequences of a hazard. They most commonly refer to engineering (structural) measures but can also include other non-structural measures and tools designed and employed to avoid or limit the adverse impact of natural hazards and related environmental and technological disasters.

**Danger (Threat):** The natural phenomenon described in terms of its geometry, mechanical and other characteristics. The danger can be an existing one such as a creeping slope or a potential one (such as a rockfall). The characterisation of a danger or threat does not include any forecasting.

**Deterministic:** Describing a process with an outcome that is always the same for a given set of inputs, i.e. the outcome is "determined" by the input. Deterministic contrasts with random, which describes a process with an outcome that can vary even though the inputs are the same. Deterministic analysis contrasts with probabilistic analysis.

**Disaster:** A serious disruption of the functioning of a community or a society causing widespread human, material, economic or environmental losses which exceed the ability of the affected community or society to cope using its own resources. A disaster results from the combination of hazards, vulnerability, and insufficient capacity or measures to reduce the negative consequences of risk.

**Elements at risk:** Population, buildings and engineering works, infrastructure, environmental features and economic activities in the area affected by a hazard.

**Environmental risks:** Risks to natural ecosystems or to the aesthetics, sustainability or amenity of the natural world.

**Expected value:** The average or central tendency of a random variable. In risk analysis, the product of the probability of an event and of its consequences, aggregated over all possible values of the variable.

**Extreme event:** Event, which has a very low annual exceedance probability (AEP). Sometimes defined as an event beyond the credible limit of extrapolation and therefore dependent on the length of record and the quality of the data available.

**Factor of Safety:** The ratio of system resistance to the peak design loads, often calculated in accordance with established rules.

---

<sup>18</sup> Ces définitions sont proposées par le Comité Technique 32 de l'Association Internationale de Mécanique des Sols, qui travaille sur les notions de risques liés à la géotechnique. Elles reprennent, pour la plupart d'entre elles, les définitions établies par d'autres organismes ou comités internationaux (ICOLD, IUGS Working Group on Landslides, ISDR de l'ONU). Seule une version anglaise est actuellement disponible (le TC32 est en cours d'activité) et nous n'avons pas souhaité la traduire pour ne pas introduire de facteur de biais.

**Failure:** The inability of a system, or part thereof, to function as intended. In the context of structural safety (including geotechnical structures), failure is generally confined to issues of structural integrity, and in some contexts to the special case of collapse of the structure or some part of it.

**Frequency:** A measure of likelihood expressed as the number of occurrences of an event in a given time or in a given number of trials (see also likelihood and probability).

**Hazard:** Probability that a particular danger (threat) occurs within a given period of time.

**Human factors:** Human factors refer to environmental, organisational and job factors, and human and individual characteristics which influence behaviour in a way which can affect safety.

**Individual risk:** The increment of risk imposed on a particular individual by the existence of a hazard. This increment of risk is an addition to the background risk to life, which the person would live with on a daily basis if the facility did not exist.

**Involuntary risk:** A risk imposed on people by a controlling body and not assumed by free choice of the people at risk.

**Judgement:** Contribution to decision-making which depends on a person's experience, technical know-how, and ethical or moral values.

**Limit:** In relation to level of risk, that level which, when exceeded, is unacceptable. Higher risks cannot be justified except in extraordinary circumstances (typically where the continuation of the risk has been authorised by government or a regulator in the wider interests of society).

**Loss:** Any negative consequence, financial or otherwise.

**Mitigation:** Measures undertaken to limit the adverse impact of, for instance, natural hazards, environmental degradation and technological hazards.

**Natural hazard:** Natural process or phenomenon that may constitute a damaging event. Natural hazards can be classified by origin namely: geological, hydro-meteorological or biological.

**Population at risk:** All those persons who would be directly exposed to the consequences of failure of a structure or facility if they did not evacuate.

**Prevention:** Activities to provide outright avoidance of the hazards and their consequences.

**Probabilistic:** A description of procedures, which are based on the application of the laws of probability. Contrasts with deterministic.

**Probability:** A measure of the degree of certainty. This measure has a value between zero (impossibility) and 1.0 (certainty). It is an estimate of the likelihood of the magnitude of the uncertain quantity, or the likelihood of the occurrence of the uncertain future event.

There are two main interpretations:

*i) Statistical - frequency or fraction – The outcome of a repetitive experiment of some kind like flipping coins. It includes also the idea of population variability. Such a number is called an "objective" or **relative frequentist** probability because it exists in the real world and is in principle measurable by doing the experiment.*

*ii) Subjective probability (**degree of belief**) – Quantified measure of belief, judgement, or confidence in the likelihood of an outcome, obtained by considering all available information honestly, fairly, and with a minimum of bias. Subjective probability is affected by the state of understanding of a process, judgement regarding an evaluation, or the quality and quantity of information. It may change over time as the state of knowledge changes.*

**Random variable:** A quantity, the magnitude of which is not exactly fixed, but rather the quantity may assume any of a number of values described by a probability distribution.

**Residual risk:** The remaining level of risk at anytime before, during and after a program of risk mitigation measures has been taken.

**Risk:** Risk = Hazard  $\times$  potential worth of loss. This can be also expressed as "Probability of an event times the consequences if the event occurs".

**Risk analysis:** The use of available information to estimate the risk to individuals or populations, property or the environment, from hazards. Risk analyses generally contain the following steps: definition of scope, danger (threat) identification, estimation of probability of occurrence to estimate hazard, evaluation of the vulnerability of the element(s) at risk, consequence identification, and risk estimation.

Consistent with the common dictionary definition of analysis, viz. "A detailed examination of anything complex made in order to understand its nature or to determine its essential features", risk analysis involves the disaggregation or decomposition of the system and sources of risk into their fundamental parts.

*Qualitative risk analysis: An analysis which uses word form, descriptive or numeric rating scales to describe the magnitude of potential consequences and the likelihood that those consequences will occur.*

*Quantitative risk analysis: An analysis based on numerical values of the probability, vulnerability and consequences, and resulting in a numerical value of the risk.*

**Risk assessment:** The process of making a decision recommendation on whether existing risks are tolerable and present risk control measures are adequate, and if not, whether alternative risk control measures are justified or will be implemented. Risk assessment incorporates the risk analysis and risk evaluation phases.

**Risk-based decision-making:** Decision-making, which has as a main input the results of risk assessment. It involves a balancing of social and other benefits and the residual risks.

**Risk control:** The implementation and enforcement of actions to control risk, and the periodic re-evaluation of the effectiveness of these actions.

**Risk evaluation:** The stage at which values and judgement enter the decision process, explicitly or implicitly, by including consideration of the importance of the estimated risks

and the associated social, environmental, and economic consequences, in order to identify a range of alternatives for managing the risks.

**Risk management:** The systematic application of management policies, procedures and practices to the tasks of identifying, analysing, assessing, mitigating and monitoring risk.

**Risk mitigation:** A selective application of appropriate techniques and management principles to reduce either likelihood of an occurrence or its adverse consequences, or both.

**Societal risk:** The risk of widespread or large scale detriment from the realisation of a defined risk, the implication being that the consequence would be on such a scale as to provoke a socio/political response.

**System:** Assembly that consists of interacting elements.

**Tolerable risk:** A risk within a range that society can live with so as to secure certain net benefits. It is a range of risk regarded as non-negligible and needing to be kept under review and reduced further if possible.

**Uncertainty:** Describes any situation without certainty, whether or not described by a probability distribution. Uncertainty is caused by natural variation and/or incomplete knowledge (lack of understanding or insufficient data). In the context of structural safety, uncertainty can be attributed to (i) *aleatory uncertainty*: inherent variability in natural properties and events, and (ii) *epistemic uncertainty*: incomplete knowledge of parameters and the relationships between input and output values.

**Voluntary risk:** A risk that a person faces voluntarily in order to gain some benefit.

**Vulnerability:** The degree of loss to a given element or set of elements within the area affected by a hazard. It is expressed on a scale of 0 (no loss) to 1 (total loss). Also, a set of conditions and processes resulting from physical, social, economic, and environmental factors, which increase the susceptibility of a community to the impact of hazards.

## ANNEXE 3

## Thème 2

**THESAURISATION ET DIFFUSION DE LA CONNAISSANCE**

BASES DE DONNÉES - ENSEIGNEMENT/PEDAGOGIE DU RISQUE

*Le travail de ce Groupe a été coordonné par*

*Mme Farimah Masrouri (LAEGO, Nancy) et M. René Harouimi (CNISF).*

*Ils remercient de leur contribution l'ensemble des intervenants des Ateliers dédiés à l'enseignement des risques (La Rochelle en juin 2003, Marne la Vallée en juin 2004).*

L'intérêt pour ce sujet ne s'est pas démenti, pour les fondateurs du GIS MR-GenCi, depuis le colloque à l'UNESCO en novembre 2000, puis le congrès AIPC de Malte et bien d'autres manifestations depuis. En 2002, la Conférence des Grandes Écoles a pris le Risque pour thème, et s'est posée la question de cet enseignement en France. La place du génie civil dans l'aménagement des établissements humains est telle qu'il se retrouve plus ou moins lié à la plupart des risques inhérents aux activités des populations, qu'il s'agisse de risques naturels ou anthropiques, au point qu'il est désormais difficile d'établir des cloisons étanches entre risques dits naturels (qui sont aussi influencés par les actions de l'homme) et les risques technologiques. S'il existe un consensus approximatif pour intégrer la pédagogie du risque dans l'enseignement, force est de constater la difficulté de l'introduire dans la pratique, et notamment dans l'enseignement universitaire. Cette difficulté n'est pas propre à la France, elle se retrouve dans d'autres pays. L'ASCE (Association des Ingénieurs Civils Américains) a lancé une campagne auprès des universités américaines en vue de promouvoir un programme minimal d'enseignement pour les élèves-ingénieurs du génie civil. La tâche est considérable étant donné la multiplicité des angles de vues, les divergences d'intérêts entre les parties prenantes, le désir d'insérer les opérations dans un contexte de développement durable. L'information est ainsi à distribuer entre des acteurs et clients ou usagers de cultures très différentes.

L'organigramme présenté dans le projet scientifique du GIS MR-GenCi (réf) illustre la complexité d'une gestion des risques qui est l'aboutissement de multiples étapes en interaction

les unes avec les autres. Les aspects relatifs à l'enseignement des Risques concernent l'ensemble des étapes : organisation du retour d'expérience, thésaurisation de la connaissance, formation aux outils et aux modèles, etc.

Sous cet angle, on pourrait penser que le premier objectif soit de développer des actions pédagogiques visant à faire comprendre aux responsables (chefs de projet, responsables politiques, animateurs d'associations) la complexité des opérations de génie civil, qu'il s'agisse d'ouvrages existants ou en projet.

L'enseignement du risque ne se conçoit pas sans être fondé sur une pratique éprouvée et l'intégration des leçons fournies par la mémoire de l'expérience acquise, c'est à dire du retour d'expérience (REX). L'Annexe 3A fournit quelques informations complémentaires sur l'utilité du Retour d'Expérience. Il est nécessaire de développer les « études de cas », pour élucider ou comprendre les raisons d'accidents *a priori* inexplicables. Tout comme les bâtiments eux-mêmes qui sont souvent uniques, les accidents sont souvent des cas uniques, et il est nécessaire de mémoriser dans des bases de données l'historique, l'élaboration et l'usage d'un ouvrage pour illustrer où, quand et comment un défaut ou une erreur a pu conduire à un effondrement. Régulièrement des accidents surviennent alors que tous les acteurs de la construction sont des spécialistes chevronnés de chantiers délicats et que les moyens de calcul et de prévision du comportement des structures paraissent insoupçonnables. C'est donc qu'un facteur clé a été omis, ou qu'il y a eu une conjonction exceptionnelle de facteurs de non-qualité.

### **1. Enseignement et pédagogie du Risque**

Afin d'avoir une vision globale de l'enseignement des Risques, il a été nécessaire de faire l'inventaire des cours des 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> cycles universitaires. En 2003, nous avons effectué un état des lieux résultant d'une enquête, concernant les cours dans le domaine de Gestion des Risques, en nous restreignant aux seuls établissements dédiés au Génie Civil en France. Le tableau 1 présente une synthèse de l'ensemble des fiches descriptives des enseignements obtenu. Il est à noter qu'un certain nombre d'établissements (environ 10 %) n'ont pas rendu le questionnaire et n'ont donc pas pu rentrer dans les résultats affichés ici.

Tableau 1 – Enseignements des Risques en Génie Civil en 2003 en France

	Dénomination	Risques	Etablissement	Formation	Durée du cours
1	Maîtrise et gestion des risques naturels et technologiques	GC risques divers Calculs PS -Mouvts sol – Inondations- Aléa météo	CDGA	DESS	35 h C + 15 h TD
2	Sécurité des ouvrages : risques liés aux matériaux et aux actions	GC - Variabilités matériaux-actions. Bases semi-prob des réglmts	CDGA	Licence GC et IUP	8 h C + 8 h TD
3	Maîtrise des risques – Application aux tunnels routiers	Méthodes générales d'analyse R - Tunnels Routiers	ESTP Cachan	Option 2ème année	12h C
4	DESS Aménagement littoral, portuaire et des estuaires Structures offshore et côtières	Gestion et AR Angle gestionnaire d'ouvrages	Univ Caen	DESS	15h C/TD + Projet
5	L'incertitude en Géotechnique ; sécurité des ouvrages ; risques	Modélisation de l'incertain – Modèle du terrain - Fiabilité	ECP	DEA-MSDB	39h C
6	Inspection maintenance et réparation des ouvrages		CUST	Option Ecole Ing. 3e année	25h C/TD
7	Approche Sécurité – Qualité en génie civil		CUST	Option Ecole Ing. 3e année	25 h équivalent TD
8	Risque et fiabilité des systèmes industriels	Risques industriels	ED-SPI - Univ. Clermont-Ferrand	École Doctorale	15 h équivalent TD
9	Notions sur le choix, la conception, et la construction de sites de stockage de déchets nucléaires en formation géologique profonde	Stockage déchets nucléaires (notions)	UJF Grenoble	Partie d'un DESS Gestion scient. et techn. des déchets radioactifs	3h C
10	Gestion des risques	Sensibilisation aux risques lors de la construction d'un bât.	Univ.La Rochelle	3e année d'IUP génie civil	22 h cours 8 h TP
11	Ouvrages à risques particuliers	Spécificité et risques de grands ouvrages	ENPC	Optionnel Ecole Ing. 3e année	42 h
12	Gestion des risques industriels	Analyse générale, ex.le spatial, facteur humain & responsabilités	ENPC	Optionnel Formation initiale Ing. 2e année	30 heures
13	Gestion des Risques Naturels et Industriels	Prédominance initiation aux risques industriels- Optionnel	ENSG - Nancy	Optionnel école Ing. 2e année	25 h C

	Dénomination	Risques	Etablissement	Formation	Durée du cours
14	Cindyniques	Risques industriels sous l'angle des cindyniques	École des Mines de Nancy	École Ing. 2e année	90 h
15	Risques Naturels et Aménagement du Territoire	Sensibilisation en vue de choix d'option ultérieure 2e année	École Centrale de Nantes	École Ing.- 1e année	12.5 h C Visites : 4 h +exposés : 8h
16	Risques Naturels	Sensibilisation aux risques, option GC et Environnement	École Centrale de Nantes	École Ing. 3e année	17.5h C Travx perso : 7.5h
17	Génie parasismique	Initiation dynamique structures	École Centrale de Nantes	École Ing. 3e année	12.5h C Travx perso : 2.5 h
18	Risques naturels sur la communauté d'agglomérations de Poitiers	Agglomération Poitiers Talus rocheux	ESIP- Poitiers	École Ing. 3e année	10 h, visite comprise
19	Construction et environnement - risques naturels	Pas de module spécifique, approche au cas par cas interne aux disciplines enseignées	INSA Rennes		
20	Sécurité des constructions	Notion de risque et de sécurité -Coeff. Partiels - États limites	IUP Génie Civil Infrastructures Nantes	1e année IUP	9hC + 9h TD
21	Construction et sécurité		IUP Génie Civil Infra. StNazaire	IUP 1e année Module tronc commun	7,5 h cours 7,5 h TD
22	Inspection – maintenance et réhabilitation des ouvrages existants		IUP Génie Civil Infrastructures. Nantes		
23	Conception et réhabilitation des structures pétrolières offshore.	Structures industrielles et structures offshore	ECNantes Univ. Nantes Univ. La Rochelle	DEA	9 h C
24	Stabilité des pentes	Risques naturels Réglementation, prévention, PPR	Univ Toulouse	Partie d'un module DESS	Env (15 h)
25		principes de surveillance et d'alerte, méthodes de mitigation, la loi française, méthodes de confortation, hydraulique des pentes avancée.	ENTPE	Partie de cours de spécialisation 3e année	20h C/30h TD
26	Maîtrise et gestion des risques naturels, urbains et industriels		ENTPE	Mastère spécialisé	350 h + 4 mois de stage

L'examen de ces fiches montre une grande hétérogénéité tant dans les matières choisies que pour les temps alloués à cette matière. Les comparaisons sont rendues difficiles parce qu'il faut pouvoir resituer ces enseignements dans l'ensemble de la filière où ils se placent. Par exemple, les Eurocodes qui font partie du cursus normal de tous ceux qui se destinent à la construction sont enseignés au sein de cours ne pouvant pas être clairement classés dans le domaine de Gestion des Risques.

Ce travail de synthèse permet de noter que les cours dans le domaine de Gestion des Risques sont généralement proposés en fin de cycle d'école d'ingénieurs ou en troisième cycle. Globalement trois tendances principales peuvent être dégagées de cette synthèse.

- Traitement ou initiation à la gestion des risques industriels, en tenant compte des principales méthodes d'analyse des risques, des vues en "système" ainsi que de toutes les implications socio-économiques qui accompagnent ces problèmes.
- Traitement spécifique des risques du génie civil, avec prédominance des risques naturels. Des variantes se présentent suivant les configurations naturelles régionales (pentes, littoraux, zones minières etc.). Dans certains cas, il peut s'agir du traitement exclusif d'un risque très particulier à une région précise.
- Potentielle ou visible en filigrane, consistant à incorporer l'aspect traitement du risque dans le contenu d'un cours classique mais remodelé dans cet objectif (géotechnique, construction de bâtiments, aménagements hydrologiques, etc.).

Actuellement, la mise en place des Masters, qui remplacent les DEA, est en cours dans les universités françaises. Il est donc très probable que plus de cours en relation avec la Gestion des Risques soient proposés dans les Masters Génie Civil.

Afin d'agrandir le champ d'enseignement et la transmission d'information dans le domaine de Gestion des Risques naturels et industriels, il conviendrait d'évaluer et d'approfondir les besoins et les attentes de la société en termes d'enseignement, en concertation avec les utilisateurs (les collectivités territoriales et nationales et les professionnels du Bâtiment et des Travaux Publics, ...) d'une part, et les enseignants d'autre part, en définissant de façon plus précise les contenus et les possibilités d'insertion de cet enseignement dans les cursus des établissements universitaires.

Une action importante liée à la pédagogie de la Gestion des Risques, est l'organisation des colloques, des ateliers et des journées thématiques. Nous avons organisé deux ateliers dédiés aux Risques en juin 2003 à La Rochelle et en juin 2004 à Marne-la-Vallée, parallèlement aux

Rencontres de l'AUGC. Ces réunions ont été le lieu de fructueux échanges avec les collègues universitaires.

En 2004, nous avons mis en place un cours permettant d'acquérir les notions nécessaires dans ce domaine, par un travail personnel d'environ 20 à 25 h. Ce cours peut être utilisé comme support en formation initiale ou continue (Fig. 1).



Figure 1 – Cours multimédia sur la Gestion des Risques

Le squelette de ce document peut être complété, modifié et utilisé comme document de base par l'ensemble des intervenants du Gis MR GenCi. **On pourrait ainsi produire un outil collectif commun, progressivement enrichi, à l'harmonisation et à la cohérence duquel le GIS veillerait, en apportant son label.**

En 2004-05, nous allons mettre l'accent sur l'organisation des journées de formation continue (de 1 à 3 jours) aussi bien pour les formateurs que pour les ingénieurs du monde professionnel. Ces journées mobiliseraient l'ensemble des forces actives du GIS.

La préparation de documents synthétiques sur différents thèmes liés à la Gestion des Risques ainsi que la mise en place des documents multi-medias pour permettre une pédagogie en ligne, sont d'autres aspects fondamentaux de notre thème.

Un autre projet serait de proposer un Master de Gestion des Risques en Génie Civil. Ce Master pourrait être organisé de manière à fonctionner en deuxième année de Master (c'est-à-dire en cinquième année d'études supérieures). Ce projet pourrait se mettre en place à moyen terme, après discussion avec tous les membres du GIS et concertation du monde professionnel et des collègues universitaire.

## 2. Bases de données et thésaurisation des connaissances

On appelle « retour d'expérience » les leçons retirées d'un événement malheureux survenu généralement de manière imprévue, lors d'une catastrophe naturelle ou d'origine anthropique<sup>19</sup>.

Ce peut être parce que la technologie employée était imparfaitement maîtrisée, parce que les secours étaient mal organisés, les systèmes d'alerte insuffisants, parce que le risque a été sous-estimé ou pas pris en compte, ou parce qu'il n'a pas été tenu compte de signes avant-coureurs, ou d'accidents antérieurs.

Il est devenu courant de dire que la force majeure n'existe plus, parce que les catastrophes naturelles sont répertoriées et prévisibles et que par conséquent on peut s'en prémunir en y mettant les moyens. C'est évidemment là que le bât blesse, parce que les ressources ne sont généralement pas abondantes et qu'il faut hiérarchiser les problèmes à résoudre.

Dans l'industrie et spécialement ce que l'on appelle les « méga-systèmes techniques » tels que les réseaux de chemins de fer, réseaux de distribution d'électricité ou d'eau, le souci est permanent, notamment parce que les enjeux sont considérables. Les "dysfonctionnements" peuvent avoir des conséquences graves. Même s'il n'y a pas à proprement parler de catastrophe, l'image du service ou de la société responsable subit une atteinte préjudiciable à son avenir. Le comportement des dirigeants en face d'une crise prend une importance capitale, et autant dans la résolution technique que dans la manière de communiquer. Trop souvent face à une crise grave, les responsables ont tenu des propos lénifiants quand ils ne niaient pas purement et simplement le problème.

La capitalisation des connaissances est un travail de longue haleine, puisqu'il s'agit de collecter et mettre en forme une documentation de provenances diverses. Ici comme dans les autres thèmes, il est utile de discuter, commenter, comparer et échanger les travaux entrepris par d'autres groupes en France comme à l'étranger. Ces groupes se heurtent aux mêmes difficultés théoriques (difficulté d'accès à et d'utilisation des rapports d'expertise) ou pratiques (recrutement de chercheurs et manques de crédits).

En Génie Civil, le retour d'expérience équivaut à des tests grandeur nature, qu'il s'agisse d'accidents géotechniques, de séismes, d'incendies, d'avalanches, glissements de terrain, coulées de boue, crues torrentielles, l'observation des dégâts, l'audition des témoins et des

---

<sup>19</sup> Nous verrons dans le apport du Thème 4 que le Retour d'Expérience peut aussi concerner l'exploitation quotidienne des ouvrages, même s'il peut aussi, dans ce cas, servir de soutien à une analyse des risques.

sauveteurs ont chaque fois permis d'améliorer les règlements, les pratiques et les systèmes d'alerte. La perte de mémoire des accidents passés (inondations, avalanches par exemple) ont conduit à la répétition des mêmes déboires. L'information du public, l'entraînement des populations et des services de secours sont également capables de réduire ou d'aggraver les conséquences d'un sinistre.

Le premier travail a donc été de faire un état des lieux et de faire un inventaire des travaux disponibles et de leur localisation, afin de profiter de l'expérience existante dans ce domaine. On a effectué une recherche via Internet et en tentant d'interroger directement les organismes (laboratoires, universités, associations) susceptibles de détenir des archives utiles.

Le traitement post-accident (réparation, démolition, reconstruction, mesures de surveillance) fait également partie des données à recueillir. On pourra s'intéresser aussi aux mesures prises pour le confortement d'ouvrages (ou de sites) devenus dangereux (par exemple travaux de confortement de la tour de Pise ou pour traiter l'enfoncement de la ville de Venise, Basilique Saint-François à Assise, etc.).

Les informations recueillies seront autant que possible mises en forme selon un canevas-type, tel que l'ébauche de formulaire présenté sur le tableau 2.

*Tableau 2 – Proposition de formulaire type pour l'organisation des bases de données*

Nom et nature de l'ouvrage accidenté ou du site dangereux Date de construction	Commentaires
Autorité en charge de l'ouvrage	Propriétaire ou gérant Utilisateur
Gravité Conséquences Enjeux	Victimes Incidence sur les fonctions vitales de la région, du pays
Circonstances (résumé)	
Existence de problèmes lors de la conception/exécution	
Causes Principales secondaires	Facteur inconnu lors de la conception Erreur humaine (conception, exécution, absence de contrôle) superposition d'erreurs
Temps écoulé depuis la construction	Indique le temps de latence de l'accident, donne aussi une idée sur les progrès réalisés depuis
Présence de signes avant-coureurs	Historique des incidents antérieurs et des suites données à ces incidents
Reconstitution du scénario de défaillance	Événement déclencheur, existence d'un effet domino Facteurs aggravants
Efficacité des dispositifs de secours	
Remèdes apportés Solutions techniques	
Existence d'expertises	
Responsabilités Suites judiciaires	

Les cases du tableau sont documentées dans la mesure où les données correspondantes sont disponibles et/ou pertinentes. Une difficulté majeure pour la constitution d'une telle Base de Données peut être liée à la réticence qu'auront les organismes disposant d'informations utiles à les porter librement à la connaissance de la collectivité. Il sera sans doute nécessaire, dans de nombreux cas, de rendre anonymes des informations (lieux exacts, maître d'ouvrage et intervenants impliqués...), ce qui devrait pouvoir se faire sans nuire à la qualité ni à l'utilité de l'information.

Il est clair que suivant le type d'aléa (séisme, inondation, glissement de terrain, écoulement d'immeuble...), les manifestations du sinistre ne sont pas les mêmes. Les dommages subis par les structures lors d'un tremblement de terre sont souvent typiques du déficit de sécurité de l'élément qui atteint le premier sa limite. Pour caractériser ces défaillances, il faut disposer de témoignages et de documents photographiques, de connaître la configuration du bâtiment avant son écoulement, les hypothèses adoptées lors de sa conception.

Dans cet esprit, et pour amorcer les recherches, un certain nombre d'événements caractéristiques ont été répertoriés et mis en ligne sur Internet aux adresses suivantes:

<http://www.admi.net/cgi-bin/wiki?MRGenCi>

<http://www.admi.net/cgi-bin/wiki?EtudesDeCas>

Il est utile en premier lieu d'examiner les travaux qui ont été amorcés dans ce domaine par d'autres groupes ayant les mêmes préoccupations. Ici, nous nous limiterons à décrire quelques travaux particulièrement avancés dans la démarche et riches d'exemples concrets (quelques informations complémentaires sont rassemblées dans l'Annexe 3B).

- **Travaux de l'Université d'Alabama à Birmingham**

Il s'agit d'une recherche fondée sur les présupposés de l'utilité du retour d'expérience en Génie Civil. Cette recherche intitulée "Utilisation des études de cas de défaillances et de problèmes d'éthique pour les formateurs en ingénierie" a été financée par l'agence gouvernementale américaine (*National Science Foundation*). Nombre de ces cas ont été analysés par des étudiants, également sponsorisés par la *National Science Foundation*. L'essentiel de ces recherches est disponible sur divers sites internet.

Pour appuyer ces recherches, un [séminaire conjoint de l'Université d'Alabama et de l'American Society of Civil Engineers](#) (ASCE), à l'intention des formateurs, s'est tenu en 2003 à Birmingham (Alabama), sur l'utilité des études de cas dans la pratique de l'enseignement du génie civil. Parmi les participants figuraient des membres du Comité Education du Conseil Technique de l'ASCE pour l'ingénierie d'expertise (*Forensic Engineering*).

Un groupe de travail de l'ASCE (CDFI, [Committee on Dissemination of Failure Information](#)) s'occupe de la diffusion des informations du retour d'expérience.

Le chef du projet, constatant la difficulté de créer un nouveau cours spécialement dédié aux études de cas a montré qu'il était en revanche possible d'intégrer ces études de cas dans le courant de l'enseignement des disciplines traditionnelles, comme indiqué dans le tableau 3<sup>20</sup>.

Tableau 3 - Plan d'intégration des études de cas dans le cadre des cours traditionnels, avec les hyperliens correspondants (Delatte, Université d'Alabama)

Cours	Sujet	Etude de cas
Mécanique des matériaux	Déformations structures	
	Flambement élastique	
Analyse structurale	Valeurs des charges appliquées	<a href="#">Bomber Crash into Empire State Building</a>
	Cheminement des charges	<a href="#">L' Ambiance Plaza Collapse</a>
	Déformations des structures	<a href="#">Hartford Civic Center</a> <a href="#">Quebec Bridge</a>
	Vérification des calculs électroniques	<a href="#">Hartford Civic Center</a>
Projets de béton armé	Solidité des coffrages	<a href="#">New York Coliseum</a>
	Résistance du béton	<a href="#">Willow Island cooling tower</a>
		<a href="#">2000 Commonwealth Avenue, Boston</a>
		<a href="#">Bailey's Crossroads, Virginia</a>
	Poinçonnement dans les dalles	<a href="#">2000 Commonwealth Avenue, Boston</a> <a href="#">Harbor Cay Condominium, Florida</a>
	Longueur des armatures	<a href="#">Pittsburgh Midfield Terminal Precast Beam Collapse</a>
Résistance effort tranchant	<a href="#">Air Force Warehouses</a>	
Projets métalliques	Assemblages	<a href="#">Hyatt Regency Walkway Collapse</a>
		<a href="#">Steel Frame Connections in Northridge</a>
		<a href="#">Earthquake</a>

- **Travaux de la Faculté de Génie Civil de l'Université de Bristol**

<sup>20</sup> On trouvera l'essentiel des résultats ainsi que la présentation du séminaire, à l'adresse : *Case Studies in Failures and Ethics for Engineering Educators*  
[http://www.eng.uab.edu/faculties/ndelatte/case\\_studies\\_project/](http://www.eng.uab.edu/faculties/ndelatte/case_studies_project/)

Le [département Génie Civil de l'université de Bristol](#) a également un groupe pionnier du retour d'expérience et de l'analyse des risques, sous la direction du Pr. Blockley notamment. Le site Web de ce département présente ainsi un certain nombre de cas d'école, assortis de commentaires, bibliographies et illustrations.

Les objectifs de ce projet étaient de :

- créer une source d'informations sous la forme d'un site Internet ;
- fournir une aide pédagogique aux étudiants en tirant les enseignements des accidents passés ;
- créer une base de données pour la recherche.

Le site a été terminé en 2000, mais n'a pu être amélioré depuis, faute de temps<sup>21</sup>.

Les arguments et les idées sous-jacentes à ce projet ([background information](#)) proviennent d'une réflexion sur le développement de la technique et des erreurs humaines qui l'accompagnent inévitablement. Les accidents proviennent toujours d'une combinaison de facteurs techniques et de facteurs humains (et notamment du management), comme le confirment les travaux du GIS MRGenCi dans les Thèmes 3 et 4. A l'occasion de certains cas, les auteurs développent des « graphes de séquences d'événements » décrivant les scénarios des défaillances.

Parmi d'autres exemples proposés par ce même département, on relève deux cas d'accidents au Royaume-Uni particulièrement détaillés :

- l'effondrement de la passerelle métallique de Ramsgate ;
- l'effondrement des réfrigérants de Ferrybridge.

Ces travaux ainsi que ceux entrepris dans d'autres universités ou écoles incitent naturellement à nouer des contacts internationaux en vue de partager l'expérience acquise.

- **Documents multimédias du LAEGO-ENSG**

Depuis plusieurs années, les équipes Mécanique des Roches et Mécanique des Sols de l'Ecole Nationale Supérieure de Géologie de Nancy, s'intéressent aux cas particuliers d'accidents en Géotechnique. Des documents pédagogiques et didactiques ont été créés à l'initiative des enseignants et avec l'aide des élèves sur différents catastrophes : barrage de Malpasset

---

<sup>21</sup> La documentation peut être retrouvée sur le site de l'Université de Bristol : <http://www.cen.bris.ac.uk/civil/staff/dib/casehist99/homepage.htm>

(France, 1959), carrière de Champagnole (France, 1964), barrage de Vaïont (Italie 1963), Tunnel de Vierzy (France, 1972). Notons qu'en raison des droits d'auteur sur les photos et les documents qui ont pu être parfois recueillis sur différents sites Internet, il est très difficile de mettre en ligne ce genre de document et seulement une utilisation restreinte est conseillée.

### **3. En guise de conclusion**

Le problème est loin d'être clos, quand les spécialistes se disputent encore sur les définitions du risque et du danger et sur leurs implications économiques et juridiques. D'une manière générale, des risques, quelle que soit leur nature, existent là où se trouvent des concentrations de population. Lorsque la catastrophe survient, son ampleur dépend de la préparation des populations à éviter le risque ou à limiter son incidence. La nécessité de faire progresser la culture du risque concerne au premier chef les pouvoirs publics, mais aussi les scientifiques et les éducateurs qui ont pour mission de faire progresser les savoirs et ensuite de disséminer les connaissances, y compris dans le public. Les décisions ne se prennent plus de façon unilatérale, mais par concertation entre toutes les parties prenantes.

Dans cette démarche, les scientifiques et universitaires ont la responsabilité de façonner les connaissances et aussi l'éthique des praticiens qui à leur tour prendront la responsabilité des projets de génie civil. Cependant, l'ingénieur ne peut être privé du droit à l'erreur. Ce sont malheureusement les erreurs qui font progresser la science. Encore faut-il tirer toutes les leçons des erreurs commises. D'où l'intérêt d'une mémoire commune de ces expériences.

L'organisation et la maintenance de bases de données soulèvent d'autres problèmes :

**Qui doit en prendre l'initiative ? Avec quels moyens ?**

**Qui doit en assurer la garde ? Et pour quels utilisateurs ?**

### ANNEXE 3A – RETOUR D'EXPERIENCE ET ENSEIGNEMENT

Pour Madame de Vanssay (AFPCN), « *on peut identifier une douzaine de types de retours d'expérience : phénoménologique, ergonomique, organisationnel, intuitif et pragmatique, audit patrimonial, missions flash à chaud, (type AFPS), enquêtes judiciaires, résultats et rapports de commissions d'Enquêtes ad hoc, retour d'expériences à caractère économique (assurances).* »

Dans le thème 2, nous avons envisagé essentiellement les cas d'accidents majeurs, ayant conduit à des effondrements et des pertes en vies humaines. De tout temps, les ingénieurs de structures ont eu pour objectif de réaliser des constructions sûres et ils ont considéré les défaillances comme des leçons à utiliser pour corriger leurs pratiques. La compréhension de l'erreur est source de progrès pour la technique. L'effondrement du pont de Tacoma aux États-Unis dans les années 1940 a été filmé par un témoin. Depuis, une quantité considérable de recherches ont été entreprises pour comprendre le phénomène et ont conduit aux progrès de l'aéroélasticité. La catastrophe du barrage de Malpasset a permis le développement de la mécanique des roches. Comme le dit l'ingénieur américain Petroski, la conception des structures est une activité humaine et, comme telle, elle est faillible. Mais il est impardonnable de ne pas utiliser les leçons du passé pour éviter le retour de catastrophes semblables.

Les causes et les circonstances d'effondrements sont aussi diverses que les ouvrages concernés, qui sont toujours uniques.

En France, certains accidents dans le passé très récent provoquent encore l'étonnement. Ainsi:

- L'effondrement de la passerelle piétonnière de Saint-Nazaire, un ouvrage particulièrement simple et ordinaire.
- L'effondrement partiel du terminal 2E de Roissy, dont la conception était assurée par d'éminents acteurs de l'ingénierie française et la réalisation par des entreprises de notoriété internationale.

L'étude approfondie des défaillances d'ouvrages est très instructive. En dehors des cas qui ont pour origine une technologie imparfaitement maîtrisée, l'erreur humaine est souvent en cause. L'étude systématique de cas, quand la documentation est disponible, peut contribuer à l'enseignement des ingénieurs de structures au même titre que les disciplines théoriques habituellement enseignées. Pour cela; **l'information utile doit être collectée, discutée, mise en forme et triée, et rendue disponible pour les praticiens et les experts et enfin enseignée** aux étudiants dans les filières du génie civil. La conception et la réalisation doivent être replacées dans leur contexte technique, social, économique et législatif.

Il est important que dans les écoles et universités, le risque induit par la complexité croissante des systèmes soit introduit dans l'enseignement.

### ANNEXE 3B – ETUDES DE CAS (INFORMATIONS COMPLEMENTAIRES)

#### Quelques études de cas documentées par le [Département Génie Civil de l'Université de Bristol \(UK\)](#)

Le pont de Tacoma*(1940) <a href="#">Tacoma Narrows Bridge, USA</a>	Effondrement* des réfrigérants de Ferrybridge (1965) <a href="#">Collapse of Cooling Towers at Ferrybridge, UK</a>
Effondrement* de la passerelle de Ramsgate, UK <a href="#">Ramsgate walkway collapse, UK</a>	Effondrement* du terril d'Aberfan, UK <a href="#">Aberfan coal tip disaster, UK</a>
Deuxième pont de Narrows*; Canada <a href="#">Second Narrows Bridge, Canada</a>	Effondrement* du tunnel de Heathrow <a href="#">Heathrow Tunnel Collapse, UK</a>

#### Autres exemples documentés

[L'accident de Ronan Point](#) (Explosion de gaz, 16 mai 1968, à l'est de Londres)

Cet accident, typique de « l'effet domino », récurrent dans la littérature mondiale, continue à inspirer les réglementations britannique et européenne avec la notion de robustesse (proche de la redondance).

L'exigence de Robustesse (Eurocode 0, Bases de calcul des structures) restera semble-t-il informative dans le Document d'Application Nationale (DAN) français.

Bibliographie : [Collapse of flats at Ronan Point, Canning Town, UK](#)

[Comportement des structures lors de l'attentat d'Oklahoma City](#)

La conception particulière de cet immeuble, dont tous les poteaux ne descendaient pas en fondation a constitué un facteur aggravant dans l'effondrement

Bibliographie: [http://users.skynet.be/terrorism/html/usa\\_okla.htm](http://users.skynet.be/terrorism/html/usa_okla.htm)

[Prévention des défaillances dues à des erreurs de calculs sur ordinateur](#)

[Catastrophe du World Trade Center](#) (11 septembre 2001)

iCivil Engineer, The Internet for Civil Engineers, World Trade Center Special Coverage

[Construire à New-York après le 11 septembre 2001](#) (Deux ans après)

[Effondrement de l' Hôtel New World](#) (Singapour 15 mar 1986)

Immeuble construit depuis 15 ans. Erreurs humaines (notamment de conception et dimensionnement)

[Inventaire commenté de différentes causes de défaillances de constructions relevées au Canada](#)

Erreurs de conception ou d'exécution, connaissances insuffisantes...

On se souviendra aussi que [l'incendie du dancing 5-7 à Saint Laurent du Pont](#) en 1970 avait conduit à la révision des règles de sécurité incendie en France

Ethique et métier d'ingénieur : le cas de l'écroulement de l'Hotel Hyatt, Kansas City  
<http://ethics.tamu.edu/ethics/hyatt/hyatt1.htm>

Cas d'école ayant fait l'objet d'expertises, analyses, discussions, réflexions  
<http://www.admi.net/cgi-bin/wiki?EtudesDeCas>

## ANNEXE 4.

## Thème 3

**Approche globale des risques de projets**

*Texte élaboré avec la participation des personnes suivantes*

- ☞ M. Carrère (Coyne et Bellier)
- ☞ M. Delmotte (CSTB)
- ☞ M. Deneufbourg (AFPCN)
- ☞ M. Denis (Université de Bordeaux)
- ☞ M. Barbet (SECTOR)
- ☞ M. Munier (ENSAM/ESTP)
- ☞ M. Altier (SNCF)

**Sommaire**

<b>1</b>	<b>INTRODUCTION.....</b>	<b>85</b>
1.1	PROBLEMATIQUE – CONTEXTE ET ENJEUX .....	85
1.2	PREOCCUPATIONS ET BESOINS SCIENTIFIQUES.....	85
1.3	TERMINOLOGIE.....	85
<b>2</b>	<b>CLASSIFICATION DES RISQUES .....</b>	<b>87</b>
2.1	CLASSIFICATION PAR NATURE .....	87
2.2	CLASSIFICATION CHRONOLOGIQUE .....	87
2.3	CLASSIFICATION PAR ACTEURS .....	88
<b>3</b>	<b>IDENTIFICATION DES RISQUES .....</b>	<b>89</b>
3.1	IDENTIFICATION PAR L'EXPERIENCE.....	89
3.2	IDENTIFICATION SYSTEMIQUE .....	90
3.2.1	<i>Raisonnements majoritairement inductifs fondés sur des questions du type : qu'est-ce qui se passe si ?</i>	90
3.2.2	<i>L'Arbre de Défaillance est une méthode majoritairement déductive fondée sur des questions du type : qu'est-ce qui peut être à l'origine de ?</i>	91
<b>4</b>	<b>LES METHODES D'ESTIMATION .....</b>	<b>92</b>
4.1	LES METHODES TRADITIONNELLES .....	92
4.2	LES METHODES PROBABILISTES OBJECTIVES .....	92
4.2.1	<i>bases de données</i> .....	92
4.2.2	<i>estimation fiabiliste</i> .....	93
4.3	LES METHODES PROBABILISTES SUBJECTIVES.....	99
4.3.1	<i>elicitation a dire d'expert</i> .....	99
4.3.2	<i>Elicitation experimentale: encodage des probabilités subjectives</i> .....	102
<b>5</b>	<b>LES METHODES D'EVALUATION .....</b>	<b>107</b>
5.1	LES ENJEUX .....	107
5.2	LES METHODES.....	107

## **1. INTRODUCTION**

Gouverner c'est prévoir. Les méthodes de management des risques doivent permettre d'anticiper au mieux les événements qui conditionnent le succès d'un projet et de mettre en place les actions préventives optimales ou les plus adaptées

### **1.1. PROBLEMATIQUE – CONTEXTE ET ENJEUX**

Les financeurs, donneurs d'ordre et maîtres d'ouvrages sont de plus en plus confrontés à des contraintes de réalisation d'équipements aux performances optimisées et aux meilleurs coûts et délais.

Pour ce faire ils mettent en place des organisations par projet où les méthodes de management de projet se superposent aux méthodes courantes de gestion. Ceci est valable pour toutes les techniques mises en œuvre, le Génie Civil en particulier.

Ces organisations ayant des effets immédiats sur la gestion des risques de l'entreprise, nous en développerons les concepts et les techniques qui semblent les plus appropriés.

### **1.2. PREOCCUPATIONS ET BESOINS SCIENTIFIQUES**

Dans le domaine du risque la préoccupation essentielle est la prévention plutôt que l'action curative une fois le risque avéré. Il s'agit donc d'anticiper au maximum, de mesurer en permanence l'efficacité de cette anticipation et donc de limiter au maximum les conséquences du risque avéré.

Les phases qui définissent la procédure de mise en place d'une gestion des risques de projet sont celles :

- d'anticipation et d'identification
- d'estimation des mesures de risque pertinentes
- d'évaluation des différents risques en cause
- de traitement et de mitigation de ces risques dans leur ensemble
- de financement et de contrôle des risques résiduels.

Ce sont essentiellement les méthodes d'estimation et d'évaluation que va traiter la suite du document.

### **1.3. TERMINOLOGIE**

Avant toute chose, essayons de préciser le sens d'un certain nombre de termes utilisés dès que l'on parle de risque. Cette terminologie n'a rien d'officiel, mais permet d'apporter une première clarification sur le sujet. Comme cela est déjà apparu dans le rapport du Thème 1, s'accorder sur le vocabulaire permet au moins aux experts d'un champ de communiquer.

Dans le domaine du management de projet industriel, on se base sur le fascicule de documentation FD X 50 117, relatif aux risques dans le domaine industriel, qui précise notamment :

### L'imprévu

Au sens de la norme, un **imprévu est un événement non identifiable** : il ne peut donc être ni estimé, ni évalué. Il ne pourra donc faire l'objet d'aucune action de traitement, si ce n'est d'un **provisionnement** en coût et/ou en délai totalement subjectif.

A partir du moment où un événement du type imprévu devient identifiable, il devient **un aléa ou un risque**.

### L'aléa

Toujours au sens de la norme, **un aléa est un événement identifiable, mais non quantifiable** : lui non plus ne peut donc être ni estimé ni évalué. Par contre, il peut faire l'objet d'actions de traitement au même titre qu'un risque sans que l'on puisse en mesurer l'efficacité autrement que par sa simple disparition. Ces actions de traitement peuvent être de trois natures :

- actions de **provisionnement** comme pour l'imprévu, avec la possibilité d'annuler cette provision si l'événement identifié ne survient pas,
- actions de **transfert**, consistant à reporter le traitement de l'événement sur l'acteur le plus à même de le faire (décision du donneur d'ordre – maître d'ouvrage - assurance),
- actions **d'annulation** permettant d'initier certaines études complémentaires permettant, après approfondissement, de valider le fait que l'événement est toujours préjudiciable au projet.

A partir du moment où un aléa devient un événement identifiable et quantifiable, il devient **un risque**.

### Le risque

Encore au sens de la norme, **un risque est donc un événement identifiable et quantifiable**. C'est cette caractéristique qui va permettre d'en faire un élément « gérable » car « mesurable ». Il fera l'objet des mêmes possibilités de traitement qu'un aléa, avec, en plus, la possibilité de mesurer l'efficacité des actions correspondantes, à savoir :

- **provisionnement** : l'estimation et donc l'évaluation permanente du risque, permet d'en modifier le mode de traitement,
- **transfert** : cette même mesure permanente permet de mesurer l'efficacité du transfert,
- **réduction ou annulation** : toute action permettant de réduire ou annuler le risque est mesurable en terme d'efficacité.

Autrement dit le **risque** est un événement dont l'apparition n'est pas certaine et dont la manifestation est susceptible d'affecter les objectifs du projet<sup>22</sup>.

Dans d'autres définitions **le risque est aussi une probabilité** : la probabilité que les conséquences dues à l'événement surviennent.

L'**identification** d'un risque est le processus utilisé pour en définir la nature.

L'**estimation** d'un risque est le processus utilisé pour affecter des valeurs à la probabilité d'apparition et à la gravité d'un risque.

L'**évaluation** d'un risque est le processus de comparaison et de hiérarchisation des risques estimés avec des critères de risque donnés pour déterminer l'acceptabilité d'un risque.

<sup>22</sup> On note ici des divergences majeures avec les définitions données dans le Thème 1. D'un côté le Risque résulte de l'occurrence d'un ALEA (phénomène à la source du danger) sur des ENJEUX VULNERABLES. D'un autre côté, on appelle RISQUE ce qui est qualifié d'aléa dans la première définition, et le RISQUE sera quantifié par sa PROBABILITE d'occurrence et sa GRAVITE, c'est-à-dire par l'intensité des effets sur les enjeux. Nous proposerons une explication de cette différence dans notre synthèse générale.

Ce sont ces 2 dernières notions qui seront développées par la suite. Toutefois, et en préalable, il paraît important :

- de se donner différents modes de classification,
  - d'aborder quelques méthodes d'identification,
- ceci avec l'objectif d'avoir une liste la plus exhaustive possible de risques à gérer.

## 2. CLASSIFICATION DES RISQUES

### 2.1. CLASSIFICATION PAR NATURE

Éléments susceptibles de donner lieu à apparition d'un risque

Environnement naturel : données externes

Variabilité des intempéries (*pluie, neige, vent*)

Changement climatique (?)

Températures et vents extrêmes

Crues (*courantes ou exceptionnelles*)

Mouvements de terrain, chutes de blocs rocheux

Tremblements de terre, raz de marée

Météorites (!!!)

Limites des connaissances techniques : données internes

Emploi de nouveaux matériaux, nouvelles techniques

Variabilité des propriétés des matériaux fabriqués (*terre, béton*)

Effets du vieillissement (*p. ex. précontrainte, matériaux organiques*)

Comportements extrêmes (*températures exceptionnelles*)

Simplification (abusives) des méthodes de calcul

Adéquation des normes aux cas particuliers

Facteurs organisationnels et humains

Défaut de communication (*à double sens : information / contrôle*)

Défaut de jugement (*p. ex. simplification abusive*)

Défaut de connaissance (*p. ex.: public*)

Autres...

### 2.2. CLASSIFICATION CHRONOLOGIQUE

Origine possible des risques (ayant des répercussions sur une ou plusieurs des phases suivantes)

Phase de définition :

Définition du programme cohérente avec les véritables besoins ?

Prévision de l'évolution future des besoins ?

*risque de modification du programme à l'une des étapes suivantes*

Choix judicieux du concepteur ? (*critères*)

Phase de conception :

Compréhension du programme ?

Connaissance des données techniques ? (*innovation, capacité technique, expérience*)

Connaissance des données naturelles ? (*programme de reconnaissances, études amont*)

Choix judicieux des méthodes de dimensionnement ? (*temps disponible*)

Clarté des documents de définition du projet ?  
 Choix judicieux du constructeur ? (*critères*)

Phase de réalisation :

Compréhension du projet ?  
 Simplification abusive "optimisme" (*effet pervers de certaines méthodes de sélection des entreprises*)  
 Connaissance des méthodes de construction ? (*capacité technique, expérience, innovation*)  
 Choix judicieux des méthodes de construction (*sensibilité aux aléas*)  
 Choix des moyens mis en œuvre (*temps disponible, budget*)  
 Aléa sur la sous-traitance et la fourniture (*p. ex. ciment dans certains pays*)  
 Qualité de la supervision des travaux (*contrôles inefficaces ou "bienveillants"*)  
 Traçabilité de la conformité de l'objet réalisé (*plans conformes avec modifications de chantier*)

Phase d'exploitation :

Dossiers d'ouvrage (*dossier d'origine et modifications successives*)  
 Existence, complétude et adéquation des procédures d'exploitation (*changement du personnel, perte de mémoire collective*)  
 Surveillance régulière de l'ouvrage (*auscultation, interprétation, réaction et traitement*)  
 Qualification du personnel en charge de l'exploitation (*y compris surveillance*)  
 Pour les ouvrages intéressant la sécurité publique : information du public, mesures de prévention des accidents, suivi des dispositions réglementaires, adéquation de celles-ci à l'ouvrage particulier

### 2.3. CLASSIFICATION PAR ACTEURS

- La liste des acteurs peut s'établir de la façon suivante :
  - Des Pouvoirs Publics (Etat, Régions, collectivités locales, ...)
  - Des Financeurs (banques, ...)
  - Des Maîtres d'ouvrage (décideurs et donneurs d'ordre)
  - Des Concepteurs (maîtres d'œuvre, bureaux d'études)
  - Des Entreprises (réalisation, construction)
  - Des Fournisseurs et fabricants (manufacturiers)
  - Des Assureurs
  - Des Exploitants (y compris la maintenance)
  - Des Utilisateurs (public, collectivité, usager, citoyen)

Certains de ces acteurs peuvent être à l'origine des risques, susceptibles d'affecter ceux situés en aval.

Le Maître d'ouvrage

Définition précise du programme  
 Choix judicieux du concepteur – budget et délai d'études (et reconnaissances)  
 Choix judicieux du constructeur – budget et délai de réalisation  
 Capacité financière d'achèvement  
 Réception des travaux réalisés  
 Remise de l'ouvrage fini à l'exploitant

Le Concepteur

Mauvaise interprétation du programme

Mauvaise appréciation des données d'environnement (*programme de reconnaissances, études amont*)

Défaut d'expérience ou de capacité d'analyse / innovation

Choix inapproprié des méthodes de dimensionnement ?

Mauvaise définition des documents descriptifs de l'ouvrage (documents d'appel d'offres)

Suivi insuffisant des modifications en cours de chantier

#### Le constructeur

Mauvaise interprétation des spécifications

Défaut d'expérience ou de capacité d'innovation

Choix inapproprié des méthodes de construction

Choix inapproprié des moyens mis en œuvre

Choix inapproprié des sous-traitants et des fournisseurs

Contrôle qualité déficient

Défaut de traçabilité des travaux réalisés (*plans conformes*)

#### L'exploitant

Suivi de la vie de l'ouvrage (*entretien, surveillance*)

Dossiers d'ouvrage et procédures d'exploitation (changement du personnel, perte de mémoire collective)

Qualification du personnel en charge de l'exploitation (y c. surveillance)

Modifications de la destination de l'ouvrage

Ouvrages intéressant la sécurité publique : information du public, mesures de prévention des accidents, respect des normes de sécurité.

#### Le public

Accidents

Dégradations volontaires

Les assureurs : Organismes à qui sont transférés certains des risques incombant à un ou plusieurs des acteurs cités ci-dessus. Leurs risques propres :

Estimation impropre des risques pris en charge

Survenue de risques non identifiés (--> contentieux ?)

#### L'exploitant

Mauvaise documentation de l'ouvrage réalisé (défaut de documentation)

Modifications de la législation

Actions imprévues du public

## **3. IDENTIFICATION DES RISQUES**

### **3.1. IDENTIFICATION PAR L'EXPERIENCE**

Autant dans le domaine de la production industrielle de grande série, l'expérience permet d'identifier les risques « chroniques » (pannes répétitives) ; autant dans le domaine du projet, chaque projet étant, par définition unique, on peut difficilement déduire des risques récurrents.

Si toutefois, on se trouve sur des projets identiques (même projet réalisé dans le même environnement (par exemple programme de construction d'une série d'un même type de sous-marins nucléaire ou d'une zone pavillonnaire), on peut considérer sans faire appel aux lois des grands nombres qu'un événement qui se répète plusieurs fois mérite d'être identifié comme risque potentiel et traité en tant que tel.

On peut également se trouver sur des projets similaires (par exemple un programme de construction de centrales nucléaires représentant un même projet réalisé dans des environnements différents). On procède alors à une analyse des similitudes, soit sur l'événement lui-même soit sur sa cause (arbre de causalité), et, si cette analyse est pertinente, on considère l'événement comme un risque potentiel.

### 3.2. IDENTIFICATION SYSTEMIQUE

Elle est réservée aux situations où l'expérience est limitée, voire nulle. Elle repose sur une analyse des systèmes par des **méthodes d'identification inductives et déductives** telles que décrites ci-après :

#### 3.2.1. Raisonnements majoritairement inductifs, fondés sur des questions du type : qu'est-ce qui se passe si ?

- Première étape : caractériser ce que l'on fait ou ce que l'on veut faire, et comment on le fait ou comment on va le faire, avec quels moyens et à quels niveaux de performance ; identifier le périmètre de décision, c'est à dire la frontière en deçà de laquelle l'entreprise, le projet, ont les moyens d'agir car la décision leur appartient et au-delà de laquelle l'entreprise, le projet, devront subir car la décision ne leur appartient plus : autrement dit, il s'agit de définir le système sur lequel vont porter les choix et décisions, ses limites, son environnement, ses milieux extérieurs et ses interfaces.  
Pour aider à atteindre cette première étape ont été développées des méthodes dites **d'analyse fonctionnelle** avec différentes variantes de mise en œuvre mais qui ont toutes le même objectif : associer fonctions et performances requises à solutions et caractéristiques utilisables.
- Deuxième étape : identifier de la façon la plus exhaustive possible, et sans a priori, l'ensemble des événements redoutés susceptibles d'affecter les projets, les objets, les installations dont l'entreprise ou l'organisation a la responsabilité, ou même, plus généralement, pour lesquels la responsabilité de l'entreprise ou de l'organisation pourrait être recherchée. Parallèlement, se fixer ses critères, ses limites d'acceptabilité.

Là encore des méthodes ont été développées pour supporter et aider la démarche : principalement l'Analyse Préliminaire des Risques (APR) et l'AMDEC système :

- **L'APR** (en anglais Preliminary Hazard Analysis - PHA)<sup>23</sup> consiste généralement à caractériser pour les différentes fonctions d'un système, dans ses différentes configurations possibles (phases du cycle de vie), des situations dangereuses dues à l'existence « d'entités dangereuses », elles mêmes susceptibles d'être à l'origine d'événements (causes) pouvant causer un Evénement Redouté de par ses conséquences.  
La méthode gagne à utiliser deux approches complémentaires :

---

<sup>23</sup> On relève encore ici la disparité des dénominations, déjà mentionnée au §1.3. : le vocable anglais « hazard » (que l'on traduit par « aléa », événement aléatoire redouté, source du danger) est traduit dans l'expression par « risque ».

- une « **approche fonctionnelle** » qui considère une première série d'événements « initiateurs » dus aux différents modes de défaillance des fonctions du système analysé ;
- une « **approche agression ou environnementale** », elle-même scindée en deux ; dans le premier cas, les événements initiateurs correspondent à une agression d'éléments dangereux du système analysé sur ce qui les entoure –leur environnement- ; dans le second cas, les événements initiateurs correspondent à une agression de l'environnement sur des éléments potentiellement sensibles du système analysé.

Dans chaque approche, la réflexion a pour but, sans a priori, d'imaginer les différents scénarios susceptibles de se réaliser, suite à l'occurrence de ces initiateurs puis de caractériser les différents Evénements Redoutés auxquels ils peuvent finalement conduire. La démarche peut utilement s'appuyer sur des listes guides d'entités ou d'éléments dangereux ou sensibles issus des connaissances des concepteurs et exploitants et en particulier du retour d'expérience.

L'APR s'applique à un niveau relativement macroscopique, et se doit d'imaginer les pires cas ; si ceux-ci ne sont pas réalistes (gravité objectivement faible – y compris en tenant compte du facteur d'aversion - ou probabilité trop insignifiante), ils ne seront pas retenus et les raisons correspondantes justifiées.

- **l'AMDEC système - Analyse des Modes de Défaillance, de leurs Effets et de leurs Criticités** (en anglais Failure Modes and Effects and Criticality Analysis-FMECA) peut utilement compléter l'APR ; elle s'applique à un niveau relativement macroscopique également mais sera parfois plus précise que l'APR ; par contre elle ne cherchera pas a priori à combiner les événements.

### **3.2.2. L' Arbre de Défaillance, méthode majoritairement déductive, fondée sur des questions du type : qu'est-ce qui peut être à l'origine de ?**

La méthode part d'un événement redouté identifié par ailleurs (par ex. APR, retour d'expérience) : événement de tête de l'arbre (en anglais « top event »). Elle consiste ensuite à identifier les différentes combinaisons possibles d'événements qui peuvent entraîner la réalisation de l'événement de tête. Le raisonnement est mené depuis l'événement de tête, par des niveaux successifs tels que chaque événement intermédiaire soit généré par des événements du niveau inférieur au moyen de divers opérateurs logiques (principalement des « portes » « et » et « ou »). Ce processus déductif est poursuivi jusqu'à ce que l'on obtienne des événements dits « de base » au delà desquels l'analyse ne sera plus poursuivie. Une telle démarche et la représentation logique à laquelle elle aboutit permettent :

- de visualiser l'ensemble des combinaisons d'événements susceptibles de conduire à l'Evénement Redouté, tête de l'arbre ;
- d'écrire l'Evénement Redouté sous forme d'un polynôme booléen ;
- de calculer les probabilités d'occurrence de l'Evénement Redouté et des événements intermédiaires de l'arbre à partir des probabilités d'occurrence des événements de base.

## 4. LES METHODES D'ESTIMATION

*NB : sur ce point le travail du groupe a conduit à détailler certaines méthodes lorsque d'autres ne font l'objet que d'une présentation succincte.*

### 4.1. LES METHODES TRADITIONNELLES

En règle générale, l'estimation d'un risque se fait à partir de sa probabilité d'apparition (occurrence) et de sa gravité (impact). On peut « rajouter » à cette estimation, un coefficient lié à la probabilité de détection du risque.

Occurrence et impact, sont mesurés sur une échelle de valeurs dont le détail est fonction du degré de complexité que l'on veut apporter à l'évaluation et la gestion du risque (de 1 à 4 dans les cas simples, de 1 à 10 dans les cas complexes)

#### ➤ Probabilité d'apparition

L'estimation de cette probabilité se fait en règle générale par des méthodes intuitives : il s'agit là des méthodes les plus simples, mais les moins précises car totalement dépendantes de la personne qui estime. L'estimateur étant souvent une personne qui ne subira pas les effets de l'événement, il aura éventuellement une vision plus optimiste (même si elle est basée sur une certaine expérience). Par contre, si l'estimateur est directement confronté à l'effet du risque, il aura une vision plus pessimiste.

#### ➤ Gravité

La gravité se mesure par l'impact que l'événement a sur le bon déroulement du projet. Il peut y avoir un ou plusieurs impacts, à savoir :

**Impact sur le projet lui-même** : l'identification du risque peut conduire à remettre en cause l'organisation du projet ou éventuellement à envisager son interruption ou son arrêt définitif,

**Impact coût** : l'estimation du risque permet de mesurer le coût que va engendrer son apparition. Une telle mesure d'impact permet notamment de déterminer des provisions de projet,

**Impact délai** : le risque peut engendrer des retards dont il faut prévoir les conséquences sur l'environnement au sens large,

**Impact sur les performances** : le risque peut conduire à remettre en cause la qualité technique du projet et donc le non respect du besoin exprimé par le donneur d'ordre.

L'estimation de la gravité peut être mesurée, soit par la mesure d'un seul impact, soit par la combinaison de plusieurs impacts

### 4.2. LES METHODES PROBABILISTES OBJECTIVES

#### 4.2.1. Les bases de données

**Méthodes scientifiques ou objectives** dans lesquelles on peut retrouver :

- les **méthodes statistiques**, basées sur l'expérience passée et permettant de donner une probabilité précise sur la base de la loi des grands nombres
- les **méthodes probabilistes**, basées sur des calculs techniques de fiabilité et de taux de défaillance (calculs ou expérimentations)

- les **analyses combinatoires** permettant à partir de probabilités élémentaires, de raisonner sur des ensembles plus importants ou sur la totalité du projet (méthode de Monte Carlo).

#### 4.2.2. L'estimation fiabiliste

L'estimation du niveau de fiabilité d'un système peut s'effectuer par l'une des approches décrites ci-dessous.

##### 4.2.2.1. METHODES DE NIVEAU 1

Les méthodes de niveau 1 permettent de justifier que les niveaux de fiabilité requis pour un système donné sont atteints dès qu'un certain nombre de conditions, écrites dans un format de calcul prédéfini sont vérifiées. Aucun calcul de probabilité de défaillance n'est effectué.

On les appelle aussi méthodes semi-probabilistes. Cela vient du fait que les coefficients de sécurité intervenant dans les formats de vérification peuvent avoir été déterminées de manière probabiliste ou déterministe selon les cas.

Ces variables de calcul interviennent sous forme de valeurs caractéristiques divisées (ou multipliées) par des coefficients partiels de sécurité, calibrés de sorte que les dimensionnements qui en découlent ne s'écartent pas de dimensionnements qui ont donné globalement satisfaction par le passé dans des conditions d'exploitation comparables. Elles ont le grand mérite d'être validées par l'expérience.

Ces méthodes sont à la base de tous les règlements de construction modernes.

##### 4.2.2.2. METHODES PROBABILISTES DE NIVEAU 2

Les méthodes probabilistes de niveaux 2 et 3 reprennent le principe du calcul aux états limites : on se fixe un certain nombre d'états limites (modèles mathématiques décrivant de manière appropriée le phénomène conduisant à la défaillance dont on veut se prémunir) au-delà desquels on considère que le système est défaillant, et on estime la probabilité de dépassement de cet état limite. Le choix du type de méthode dépend du type de problème, et résulte d'un compromis entre la précision des données disponibles et la précision des résultats recherchés.

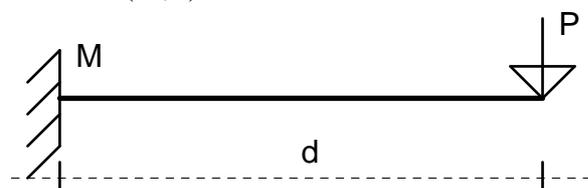
Calculer la probabilité de défaillance exacte d'un système vis à vis d'un agent sollicitant est souvent illusoire, faute de données statistiques suffisamment fiables.

C'est pourquoi, dans les méthodes de niveau 2, on cherchera plutôt à estimer des probabilités de défaillance conventionnelles (calcul d'indices de fiabilité). La principale hypothèse simplificatrice qui sous-tend l'utilisation des méthodes de niveau 2 est que toutes les variables aléatoires sont supposées gaussiennes.

##### Illustration de la notion d'indice de fiabilité

Soit une fonction d'état limite  $Z$   $Z > 0$  : sécurité  $Z < 0$  : défaillance

$$Z(M,P) = M - d.P$$



Si  $M$  et  $P$  suivent des lois normales de moyennes respectives  $\underline{M}$ , et  $\underline{P}$ , et d'écart types  $\sigma_M$  et  $\sigma_P$ , alors  $Z$  suit une loi normale de moyenne  $\underline{Z} = \underline{M} - d \cdot \underline{P}$  et d'écart type  $\sigma_Z = \sqrt{\sigma_M^2 + d^2 \cdot \sigma_P^2}$

La probabilité de défaillance est  $P(Z < 0) = \frac{1}{\sqrt{2\Pi}\sigma_Z} \int_{-\infty}^0 e^{-\frac{(Z-\underline{Z})^2}{2\sigma_Z^2}} dZ$

Si on pose  $u = \frac{Z-\underline{Z}}{\sigma_Z}$  et  $\beta = \frac{\underline{Z}}{\sigma_Z}$ , on a

$$P(Z < 0) = \frac{1}{\sqrt{2\Pi}} \int_{-\infty}^{-\frac{\underline{Z}}{\sigma_Z}} e^{-\frac{u^2}{2}} du = \Phi(-\beta) \quad \text{avec} \quad \beta = \frac{\underline{Z}}{\sigma_Z} = \frac{\underline{M} - d \cdot \underline{P}}{\sqrt{\sigma_M^2 + d^2 \cdot \sigma_P^2}} \quad (1)$$

### Interprétation géométrique

Si on pose  $M' = \frac{M - \underline{M}}{\sigma_M}$  et  $P' = \frac{P - \underline{P}}{\sigma_P}$

l'équation de la surface d'état limite  $Z=0$  est :

$$Z = M - d \cdot P = \sigma_M \cdot M' - d \cdot \sigma_P \cdot P' + \underline{M} - d \cdot \underline{P} = 0 \quad (2)$$

Dans le repère  $[0, P', M']$  (fig. 1), on reconnaît l'équation d'une droite

La distance  $d$  d'une droite d'équation  $Ax + By + C=0$  à l'origine est  $d = \frac{C}{\sqrt{A^2 + B^2}}$

La distance de la droite d'état-limite à l'origine est  $d = \frac{\underline{M} - d \cdot \underline{P}}{\sqrt{\sigma_M^2 + d^2 \cdot \sigma_P^2}} = \beta$

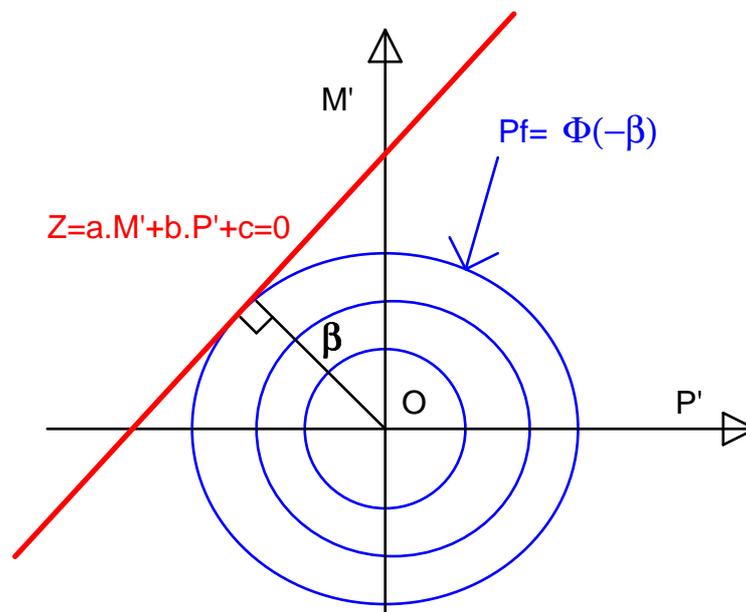


Figure 1. Illustration graphique de l'indice de fiabilité  $\beta$

Dans l'espace réduit, l'indice de fiabilité  $\beta$  est la distance de l'origine à la fonction d'état limite. Plus  $\beta$  est grand, plus la fiabilité est grande et vice-versa.

Il n'y a correspondance stricte entre l'indice de fiabilité et la probabilité de défaillance ( $P(Z < 0) = \Phi(-\beta)$ ) que si toutes les lois sont normales, centrées, réduites, indépendantes, et si la fonction d'état limite est linéaire.

On ne peut utiliser les méthodes de niveau 2 dans les autres cas que si on admet l'approximation  $P(Z < 0) \approx \Phi(-\beta)$  (approximation « FORM », pour First Order Reliability Method).

Cette approximation revient à assimiler la surface d'état limite à un hyperplan au point de défaillance le plus probable (figure 2). La précision de cette méthode dépend de la forme de la surface d'état limite au point de défaillance le plus probable.

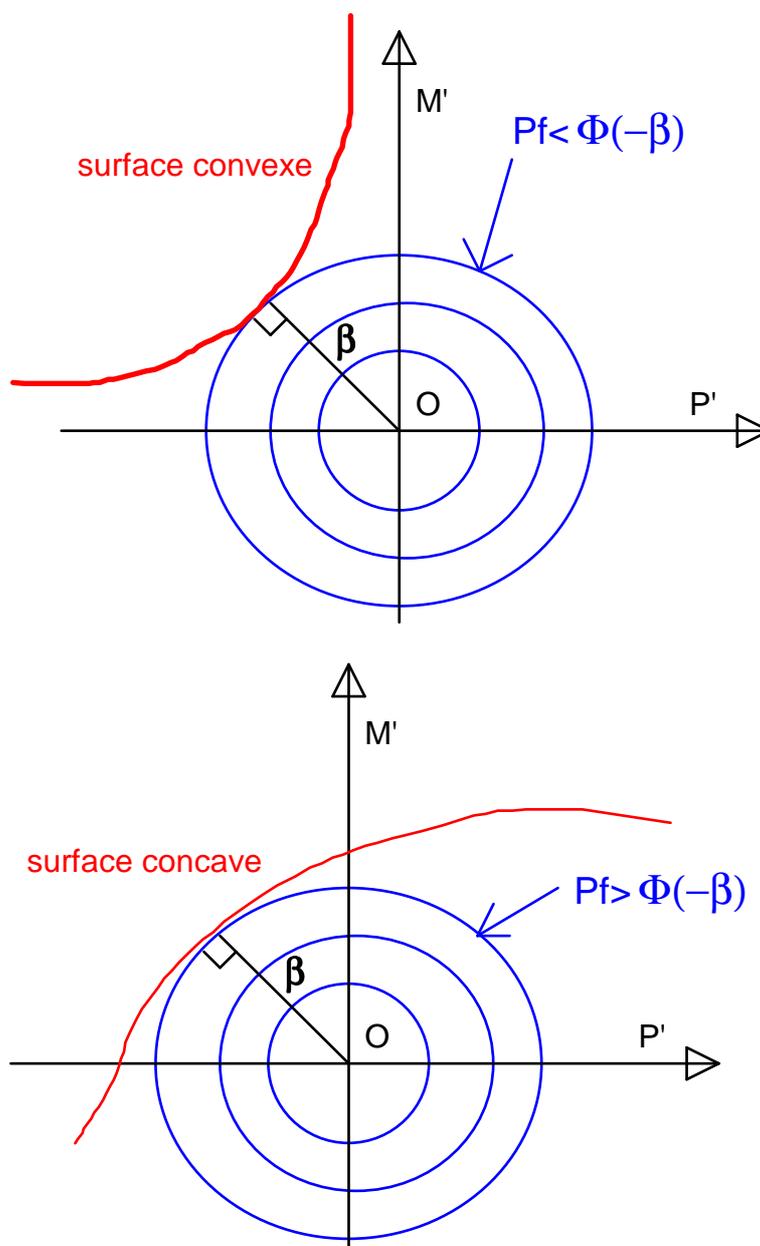


Figure 2. Illustration graphique de la méthode d'approximation FORM : si la surface est concave, on a  $P(Z < 0) \geq \Phi(-\beta)$ , si la surface est convexe, on a  $P(Z < 0) \leq \Phi(-\beta)$

Cette méthode donne des valeurs conventionnelles de probabilité de défaillance, supposées suffisamment précises pour la plupart des applications courantes. Elles servent couramment au calibrage de codes et à la comparaison de niveaux de fiabilité.

On peut aussi signaler l'existence des méthodes SORM (Second Order Reliability Method) qui consistent à approcher la surface d'état limite au point de défaillance la plus probable par une hypersurface de degré 2, et qui tient compte des courbures de la surface en ce point. mais les résultats ne sont pas forcément plus précis qu'avec une approximation FORM.

#### 4.2.2.3. METHODES PROBABILISTES DE NIVEAU 3

Ce sont des méthodes intégralement probabilistes, qui permettent de déterminer des probabilités de défaillance réelles. Elles présentent l'avantage majeur de ne dépendre d'aucune hypothèse limitative. Elles sont donc en théorie toujours utilisables, bien que peu utilisées dans la pratique en raison du fréquent manque de données statistiques. Leur emploi est cependant nécessaire dès que les approximations FORM/SORM décrites ci-dessus ne sont plus acceptables.

Leur mise en œuvre passe par 2 phases décrites ci-dessous : la détermination des lois de distribution et l'évaluation des probabilités de défaillance.

➤ Détermination des lois de distribution de chacune des variables aléatoires

Deux approches sont possibles :

- l'approche « expérimentale », qui consiste à acquérir un grand nombre de réalisations indépendantes, et à les regrouper ensuite en classes de manière à établir, à l'aide des méthodes de la statistique mathématique, une loi de distribution expérimentale ;
- l'approche « par modèle » qui consiste, à partir de la seule information disponible, de construire la loi de probabilité qui donne l'incertitude maximale (application du principe de maximum d'entropie). On obtient alors une expression analytique explicite de la densité de probabilité.

Le problème consiste à maximiser l'expression suivante :

$$S(f[A]) = - \int_{M_n(R)} f_{[A]}([A]) \cdot \ln(f_{[A]}([A])) dA$$

compte-tenu d'un certain nombre de contraintes exprimant la connaissance disponible :

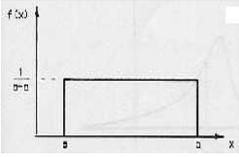
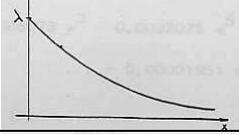
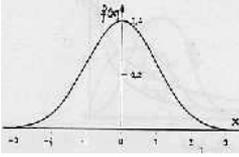
$$\int_{M_n(R)} f_{[A]}([A]) dA = 1 \text{ par définition de la fonction de répartition}$$

$$\int_{M_n(R)} [A] f_{[A]}([A]) dA = E\{[A]\} \text{ connaissance de la moyenne}$$

$$\int_{M_n(R)} [A]^2 f_{[A]}([A]) dA = E\{[A]^2\} + \sigma^2\{[A]\} \text{ connaissance de la variance}$$

C'est un problème d'optimisation avec contraintes, qui se résout classiquement en appliquant la technique des multiplicateurs de Lagrange.

Quelques résultats dans le cas unidimensionnel sont donnés dans le tableau ci-dessous.

Données disponibles	Loi de distribution	Figure	Densité de probabilité
Valeurs minimale ( $a$ ) Valeur maximale ( $b$ )	Loi uniforme		$f_x(x) = \frac{1}{b-a}$ si $a < x < b$ $f_x(x) = 0$ sinon
$0 \leq x < +\infty$ Valeur moyenne $m$	Loi Exponentielle		$f_x(x) = \frac{1}{m} e^{-\frac{x}{m}}$
$-\infty < x < +\infty$ Valeur moyenne $m$ Ecart type $\sigma$	Loi normale		$f_x(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}}$

Ces méthodes, toujours utilisables, conduisent à des résultats dont l'incertitude est directement (et uniquement) conditionnée par l'incertitude sur les données disponibles.

### Estimation des probabilités de défaillance

Il n'existe aucune méthode analytique dans le cas général. On procède donc par simulations (méthode de Monte-Carlo). On procède par tirages aléatoires et comptage (on compte les tirages obtenus de part et d'autre de la surface d'état limite).

Si on fait 100 tirages aléatoires dont 5 se trouvent dans la zone de défaillance, on dira que la probabilité de défaillance est voisine de 5%. La technique nécessite une étude de convergence de la probabilité de défaillance quand le nombre de tirages tend vers l'infini.

Le problème qui se pose couramment est celui de l'évaluation des probabilités de défaillance très faibles, comme celles rencontrées en génie civil. En effet, si on veut estimer une probabilité de défaillance de  $10^{-7}$ , il faudra  $10^9$  tirages et  $10^9$  calculs. Il existe plusieurs techniques de réduction du nombre de calculs, parmi lesquelles on peut citer :

- ➔ La dissociation des variables de sortie. La limite d'application de cette technique est liée à la vérification de l'hypothèse d'indépendance statistique des variables de « résistance » et de « sollicitation ».
- ➔ Le conditionnement probabiliste (tirage d'importance conditionné, poids probabilistes hyperconiques...). La probabilité conditionnée  $P_f = p_1 \cdot p_2$ , avec  $p_2 = 1 - \chi^2(\beta^2)$ ,  $p_1$  est calculé par simulation et rejection des tirages pour lesquels le rayon est supérieur à  $\beta$ .

Lorsqu'elles sont applicables, ces deux techniques permettent de diminuer le nombre de simulations dans un rapport de 1 à  $(P_f)^{-1/2}$ .

#### 4.2.2.4. METHODES POSSIBILISTES

Les méthodes précédentes supposent que les modèles mathématiques traduisant le phénomène de défaillance sont explicitement connus, ce qui est loin d'être toujours le cas (phénomènes très complexes ou ne pouvant se formaliser mathématiquement). Il est possible de pallier ce manque de connaissance par utilisation d'avis d'experts dans une approche possibiliste basée sur des concepts de logique floue. Cette approche peut paraître moins « scientifique » et permettre des calculs moins précis que ne le permettent les approches probabilistes, mais elle peut souvent donner des résultats moins faux.

En utilisant les concepts empruntés en logique floue, la démarche est la suivante :

- identification des grandeurs d'entrée et de sortie utilisées par l'expert pour formuler son avis ;
- transcription des termes qualificatifs utilisés par l'expert (faible, moyen, fort,...) sur des échelles de valeurs quantitatives ;
- transcription des prescriptions d'experts, exprimées en langage naturel, en règles d'inférences floues.

Pour un problème donné, la procédure de traitement est :

- « fuzzification » des grandeurs d'entrée, c'est-à-dire transformation des données numériques d'entrée en grandeurs floues. A chaque grandeur d'entrée, on fait correspondre une valeur floue avec un degré d'appartenance (valeur entre 0 et 1) ;
- mise en application des règles d'inférence définies ci-dessus ;
- « défuzzification » des grandeurs de sortie, c'est-à-dire transformation des grandeurs de sortie floues en valeurs numériques, exprimant alors les résultats finaux.

Les principaux points forts de cette méthode sont :

- il n'est pas nécessaire de recourir à un modèle de comportement ;
- les connaissances sont exprimées et implémentées en langage naturel ;
- aptitude au traitement des données imprécises, voire même incomplètes.

#### 4.2.2.5. APPORT DES PROBABILITES DANS LES METHODES POSSIBILISTES

Dans une approche possibiliste, les grandeurs floues sont représentées par des fonctions de densité de possibilité « dessinées » par l'expert. Plus scientifiquement, ces fonctions peuvent aussi être déduites (moyennant une certaine perte d'information) des fonctions de densité de probabilité si ces dernières sont connues. Il existe dans la littérature plusieurs transformations probabilistes → possibilistes basées sur les principes suivants :

- principe de cohérence :  
 $P(A) \leq \Pi(A)$  : avant qu'un événement soit probable, il faut d'abord qu'il soit possible,
- principe de maximum de spécificité :  
 $\min \left[ \int_{-\infty}^{+\infty} \pi(x) dx \right]$  : il s'agit de rechercher la distribution de possibilité qui fournit la plus petite borne supérieure à  $P(A)$ , c'est-à-dire la plus informative, celle pour laquelle la perte d'information est la plus faible.

La transformation  $p(x) \rightarrow \pi(x)$  satisfaisant au mieux les principes ci-dessus s'obtient par :

$$\pi(x) = \int_{-\infty}^x p(\omega) d\omega + \int_{f(x)}^{+\infty} p(\omega) d\omega$$

*Exemple d'application :* à la fonction de densité de probabilité uniforme sur un intervalle  $[a, b]$  correspond la fonction de densité de possibilité triangulaire sur ce même intervalle.

### 4.3. LES METHODES PROBABILISTES SUBJECTIVES

#### 4.3.1. Elicitation à dire d'expert

De nombreux statisticiens ont longtemps été réticents pour introduire dans leurs estimations les connaissances des experts (connaissance a priori). Pour ces derniers, l'analyse statistique basée sur la fréquence de répétition d'un événement est la seule procédure objective permettant d'évaluer correctement la probabilité de cet événement. L'aspect pratique semble toutefois l'avoir emporté en supposant maintenant scientifiquement admis l'usage de toutes les informations disponibles sur les paramètres et en particulier les avis d'experts.

Dans le cas d'événements rares, le concept classique de fréquence, base de l'application du calcul des probabilités est encore moins justifié. L'estimation des probabilités d'événements rares se trouve fortement limitée par les incertitudes sur les données, leur faible nombre (informations disponibles réduites) et par l'incertitude sur les modèles. Les connaissances a priori des experts, dans ce cadre particulier, peuvent améliorer de façon significative la capacité d'un modèle statistique dans l'extrapolation des queues de distribution.

Les informations disponibles sur un paramètre seront donc les avis d'expert sur le comportement de ce paramètre (information initiale ou information a priori) et les données observées ou observations sur ce même paramètre.

Si l'information initiale peut être formalisée par une distribution de probabilité (distribution a priori), nous obtenons avec les observations et le théorème de Bayes une distribution a posteriori qui exprime notre incertitude sur le paramètre conditionnellement aux observations (elles représentent un échantillon particulier de données observées). La distribution a posteriori combine ainsi l'information initiale avec l'information apportée par les données sur le paramètre étudié (figure 3).

L'utilisation du théorème de Bayes amène deux difficultés. La première concerne la détermination du modèle probabiliste qui caractérise les observations conditionnellement aux paramètres étudiés. Ce modèle n'est autre qu'une fonction de vraisemblance qui exprime la « fiabilité » de la mesure sur le paramètre étudié. La deuxième difficulté est de transformer un jugement, un avis d'expert en une distribution de probabilité. Nous rentrons ici dans un domaine que les statisticiens appellent « l'élicitation des priors » ; c'est-à-dire la traduction en termes quantitatifs des opinions d'experts, souvent exprimés en termes qualitatifs, tout en prenant en compte leurs propres incertitudes.

Des procédures d'élicitations sont depuis peu de temps utilisées en hydrologie pour, par exemple, estimer des quartiles de distributions des précipitations extrêmes. Il apparaît dans ce type d'application pratique que la quantification directe des paramètres statistiques doit être évitée quand ceux-ci n'ont pas un sens compréhensible ou un sens physique direct pour l'expert. Des paramètres dont la signification est plus aisée, comme des moyennes ou des

quartiles peuvent être soumis aux experts avant d'en déduire les estimations des paramètres propres à la construction d'une loi de distribution a priori.

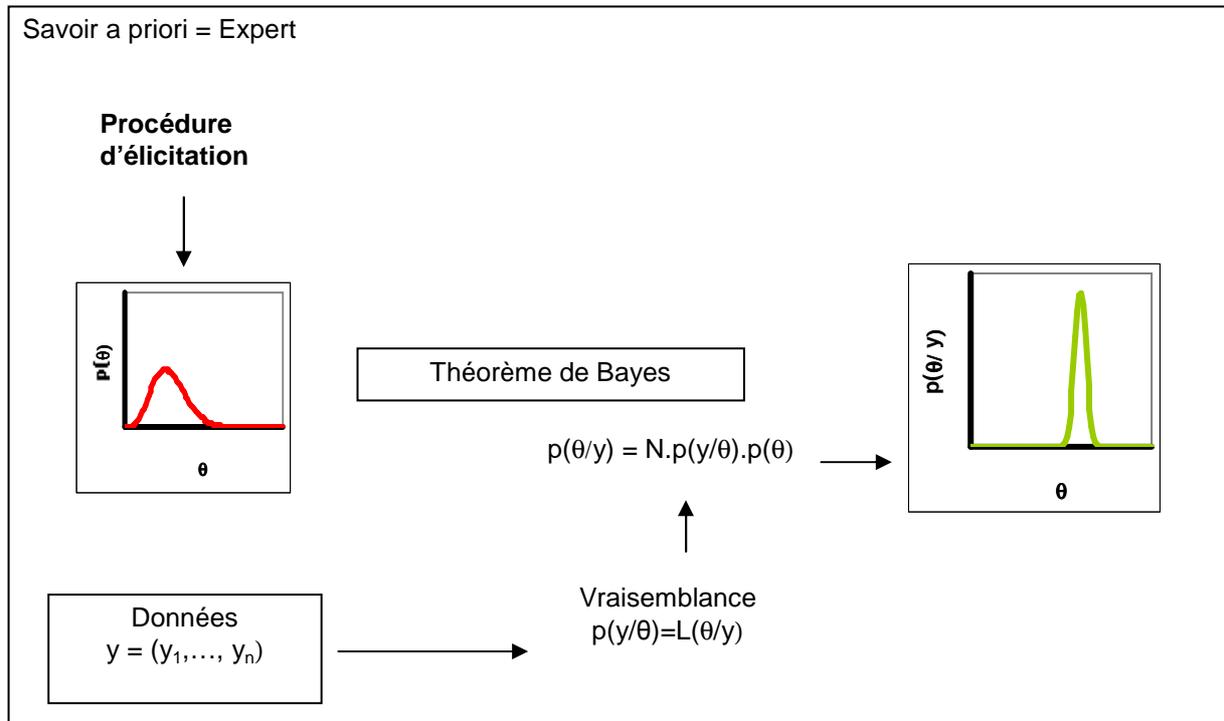


Figure 3 : Schéma général du raisonnement Bayésien de la distribution *a priori* à la distribution *a posteriori* pour un paramètre  $\theta$ .

L'objectif principal d'une procédure d'élicitation est d'obtenir d'un expert son avis sur la valeur que pourrait prendre le paramètre étudié mais également l'incertitude qu'il accorde à son avis.

De nombreux obstacles ou difficultés peuvent survenir dans la procédure d'élicitation ; nous n'en citerons que deux : les biais dans la procédure et l'agrégation des opinions de différents experts.

Les biais dans la procédure :

Trois types de biais sont classiquement reconnus dans une procédure d'élicitation : le biais cognitif, le biais de motivation et le biais de connaissance :

- *le biais cognitif* : devant l'incertain, le jugement d'un expert peut être affecté par leur propre peur ce qui peut entraîner une sous ou sur-estimation dans la valeur moyenne et l'incertitude du paramètre élicité ;
- *le biais de motivation* : le processus d'élicitation, l'ambiance, ou l'interviewer dans le choix de ses questions peuvent influencer les réponses de l'expert ;
- *le biais de connaissance* : l'expert peut donner des réponses qui sortent des standards (mauvais choix de l'expert pour le paramètre à éliciter) ou différer complètement des réponses des autres experts du groupe.

L'agrégation des opinions.

Lorsque la procédure d'élicitation s'applique à un groupe d'expert, il se pose la difficulté d'agrèger de manière optimale les différentes opinions des experts du groupe. Cette agrégation se veut cohérente dans le sens où elle doit être :

- *robuste* : la distribution a priori finale ne doit pas être influencée par de petits changements dans la distribution initiale ;
- *symétrique* : l'ordre dans lequel les différentes opinions des experts sont prises en compte n'a pas d'influence sur la distribution a priori agrégée ;
- *constante* : la forme des distributions a priori données par chaque expert (on recherche une distribution unimodale dans la majorité des situations) doit se retrouver dans la distribution agrégée ;
- *avoir une cohérence Bayésienne* : l'agrégation des distributions a priori doit mener à la même distribution a posteriori que celle qui serait obtenue par agrégation des distributions a posteriori obtenue à partir de la distribution a priori de chaque expert.

Cette dernière contrainte fixe généralement le choix de l'opérateur d'agrégation :

si  $f'_n(\theta)$  représente les  $n$  distributions a priori des experts, la distribution a priori agrégée par l'opérateur  $T$  s'écrit :

$$f'(\theta) = T(f'_1(\theta), \dots, f'_n(\theta))$$

La distribution a posteriori  $f''_n(\theta)$  s'écrit pour chaque expert, selon le théorème de Bayes :

$$f''_n(\theta) = N. L(\theta/y). f'_n(\theta)$$

La cohérence Bayésienne implique que

$$f''(\theta) = T(f''_1(\theta), \dots, f''_n(\theta))$$

Un opérateur  $T$  du type  $T(f'_1(\theta), \dots, f'_n(\theta)) = \prod_{i=1}^n f'_i(\theta)^{w_i}$  permet d'assurer la cohérence Bayésienne.

On retiendra principalement que, si les méthodes d'élicitation sont nombreuses (KET : Knowledge Elicitation Tool), le choix de l'expert, mais également de la personne qui conduit l'élicitation sont des facteurs primordiaux dans la réussite de la prise en compte des dires d'expert dans un modèle statistique.

### 4.3.2. Elicitation expérimentale: encodage des probabilités subjectives

Dans la plupart des cas lorsqu'il s'agit de gérer des risques, les fréquences que l'on souhaiterait avoir ne sont pas disponibles.

Le cas le plus trompeur est celui de l'illusion d'en disposer : dans la plupart des cas, les « fréquences » ou les « statistiques » qui sont disponibles portent sur des objets non homogènes et ne signifient donc pas grand chose.

#### 4.3.2.1. LES REACTIONS TROMPEUSES

Face à cette difficulté, les gestionnaires de risques recourent le plus souvent à des subterfuges qui sont aussi illusoire les uns que les autres.

Le plus courant est évidemment de recourir à une « échelle qualitative » de probabilité du type « très rare », « peu fréquent », etc. L'expérience montre que chacun interprète l'échelle à sa façon et qu'elle ne permet pas que chacun ait une représentation communicable des questions soulevées. Par exemple, les psychologues ont trouvé que telle « catégorie » de probabilité était comprise par les différents participants à un groupe comme 0,36 pour les uns, 0,77 pour les autres... Or, l'un des intérêts majeurs des techniques de gestion de risques est de déclencher la communication entre les collaborateurs d'un service ou d'une direction sur des sujets sur lesquels il est traditionnellement difficile de communiquer, en vue de se coordonner...

Croyant s'en prémunir, certains ont alors l'idée de recourir au dire d'expert « directement » en demandant aux personnes familières des phénomènes de « donner une probabilité » à tel ou tel phénomène. On constate alors une dispersion très forte des résultats, d'autant plus forte que le phénomène est plus complexe et/ou qu'il est plus controversé. Les psychologues cognitifs savent bien que les tâches d'évaluation nous sont plus difficiles que les tâches de choix, quasiment les seules pour lesquelles nous démontrons pratiquement une certaine capacité à ne pas nous contredire, sauf objets de choix « exotiques » ou entièrement inconnus.

Une autre illusion consiste à utiliser directement un « logiciel » d'estimation des lois de probabilité. Il y en a une demi-douzaine de très répandus dans le monde. Loin de nous l'idée de critiquer l'utilité de ces progiciels, mais il ne faut pas leur faire dire beaucoup plus qu'ils ne peuvent : ils sont utiles lorsqu'on a recueilli certaines probabilités d'événements faciles à caractériser, ou/et certaines bornes d'une distribution... Mais il est aussi difficile ou presque d'indiquer des bornes (qui sont des valeurs de probabilités particulières) que d'indiquer des valeurs de probabilités moins extrêmes... Si les logiciels en question encadrent - et donc aident à extraire, de soi-même ou d'un expert - la connaissance intuitive, ils ne la fournissent pas. Malheureusement, ils nous donnent l'impression de nous avoir apporté des informations, ce qui est une illusion.

La conclusion de tout cela est que si l'on utilise les méthodes courantes de « cartographie » des risques, *même si chacun des membres du groupe a confirmé son accord sur une représentation proposée*, il y aura plusieurs représentations individuelles non superposées de ladite grille. Voter ou discuter sur de telles représentations n'a évidemment aucun sens et ne doit servir qu'en dernier recours, faute de savoir faire mieux.

C'est non seulement vrai dans l'entreprise, mais c'est encore plus vrai pour les risques collectifs, qui donnent lieu à des commentaires peu informés la plupart du temps. Par exemple, les ingénieurs considèrent souvent que les réactions du public vis-à-vis de tel ou tel risque sont « irrationnelles » au motif que la comparaison de deux risques « objectifs » différents permet de les classer dans un certain ordre, tandis que la réaction du public révèle un classement inverse. Ce jugement d'irrationalité n'est au mieux que partiellement fondé, et il est souvent faux. On ne peut en effet taxer « d'irrationnel » que les individus qui émettent des jugements logiquement contradictoires, on ne peut pas se substituer à un sujet qui émet des jugements cohérents pour lui expliquer ce qui est bon pour lui. Tant il est vrai qu'il n'y a de mesure du risque que l'homme. Par exemple, les réactions du public s'expliquent souvent par l'enseignement du « paradoxe d'Allais », dont on reconnaît peu à peu aujourd'hui qu'il ne révèle nulle irrationalité mais simplement le fait qu'au voisinage de la certitude les variations de probabilité nous rapprochent de celle-ci, l'attrait du certain (ou l'aversion au risque) devient de plus en plus grande (« effet de certitude »).

On arrive ici à la situation actuelle : on prétend tenir compte des parties prenantes à travers d'obscurs et longs palabres – auxquels on peut conférer des noms ronflants pour masquer leur caractère non significatif –, souvent dominés par quelques personnalités qui ne représentent qu'elles. Ou bien encore, on prétend tenir compte des parties prenantes à travers une enquête qualitative souffrant des mêmes défauts que ceux qui ont été expliqués plus haut concernant la cartographie des risques dans l'entreprise. Or, dans ces deux cas, on voit que le rôle de l'analyste prend le pas sur celui des parties prenantes, et que l'on en vient vite, même en l'absence de toute intention préalable perverse, à une manipulation de l'opinion. Tenir compte effectivement et honnêtement de l'opinion des parties prenantes requiert une mesure de ces opinions – et non une mesure « objective » du risque – qui soit débarrassée autant que faire se peut des biais que l'on a déjà dénoncés et de quelques autres.

#### 4.3.2.2. LES CONTRIBUTIONS DE LA PSYCHOLOGIE COGNITIVE ECONOMIQUE

Or, on peut souvent faire mieux et on sait comment procéder si l'on tient compte des contributions scientifiques de la psychologie cognitive, de l'économie expérimentale ou des mathématiques du dernier quart de siècle, pour quelques-unes d'entre elles très récentes. Ces contributions constituent non seulement – dans quelques cas – des modélisations du risque nouvelles (transformation des probabilités ou probabilités non-additives, par exemple) mais elles constituent le plus souvent une véritable « ingénierie » des théories existantes. Même s'il est tout à fait vrai qu'il n'y a pas d'expérimentation sans modélisation préalable, on se limitera donc ici à la modélisation la plus courante du risque : espérance de gain ou de perte ou – pour être un peu plus général tout de même – espérance d'utilité.

#### 4.3.2.3. METHODES DE REVELATION INDIRECTE, PROBABILITES SUBJECTIVES

Il s'agit de méthodes non paramétriques, qu'il n'est pas interdit de combiner ensuite avec des méthodes paramétriques, voire avec d'autres méthodes non paramétriques comme la méthode d'estimation par fractiles ou la méthode de Moore et Thomas, ou encore d'encadrer par l'utilisation de progiciels dont on a fait état plus haut. On se borne ici à l'évocation de trois méthodes de base.

La méthode des paris opposés équivalents.

Supposons qu'on ne connaisse pas la probabilité d'un élément initiateur d'accident (événement I). Faire révéler l'opinion d'un expert sur ce point peut consister à lui proposer de considérer les deux paris suivants :

- Pari A.

si l'événement se produit dans l'année, il gagnera X €  
si l'événement ne se produit pas dans l'année, il perdra 1000 €.

- Pari B

si l'événement ne se produit pas dans l'année, il gagnera 1000 €  
si l'événement se produit dans l'année, il perdra X €.

Il doit alors remplir le tableau suivant en mettant une croix dans l'une des deux colonnes sur chaque ligne :

X	Préférence pour le pari A	Préférence pour le pari B
...		
400		
600		
800		
1000		
1200		
1400		
1600		
1800		
2000		
...		

La première et la dernière ligne du tableau symbolisent le fait que l'on peut ajouter des lignes dans un sens ou dans l'autre à volonté, selon la « vraie » valeur de la probabilité cherchée. Le « pas » choisi pour les valeurs de X dans la première colonne dépend de la précision voulue. Enfin, dans la pratique, on procède par questionnaire interactif fourni par un logiciel.

La valeur de X, soit X\*, qui rend les deux paris équivalents est située entre la dernière valeur de X qui entraîne la préférence pour le pari B et la première valeur qui entraîne préférence pour le pari A. La valeur de la probabilité recherchée est alors donnée par :

$$p = 1000 / (X^* + 1000)$$

Par exemple, pour X\* = 500 (croix dans la colonne B pour X = 400, croix dans la colonne A pour la valeur X = 600), p = 2/3, etc.

Les limites de cette méthode sautent aux yeux : si l'individu ne discrimine entre les situations risquées selon l'espérance de gain net, il faut connaître sa règle de choix (sa rationalité). Par exemple, s'il s'agit d'une règle d'utilité espérée, la valeur de p devient :

$$p = [ u(1000) - u(-1000) ] / [ u(X^*) - u(-X^*) ]$$

### La méthode des équivalents certains

On peut aussi demander à l'individu de choisir entre un pari P et une somme certaine que l'on notera C.

#### Pari P

si l'événement se produit dans l'année, il gagnera 1000 €  
si l'événement ne se produit pas dans l'année, il perdra 800 €.

#### Somme certaine C

La somme varie dans la première colonne d'un tableau similaire au tableau précédent. La valeur C\* qui rend la somme certaine équivalent au pari P est déterminée de la même façon (on prend la moyenne entre la valeur correspondant à la ligne de la dernière croix dans la colonne « je préfère le pari P à la somme C » et la valeur correspondant à la ligne de la première croix dans l'autre colonne). Il vient alors :

$$p = (C^* + 800) / 1800$$

Par exemple, pour  $C^* = 200$ ,  $p = 5/9$

Cette méthode est soumise à la même limitation que la précédente. Elle est également soumise à un biais connu, celui du paradoxe d'Allais.

C'est pourtant la méthode la plus ancienne et sans doute quasiment la seule qui ait été utilisée jusqu'à 1986, lorsque la méthode des loteries équivalentes a été mise au point à MIT par McCord et de Neufville.

### La méthode des loteries équivalentes

On peut demander à l'individu de choisir entre le pari P ci-dessus et un pari de référence, de la forme :

#### Pari de référence

si l'événement se produit dans l'année, il gagnera X € avec la probabilité q  
si l'événement ne se produit pas dans l'année, il perdra Y € avec la probabilité (1-q)

On choisit la valeur de X et de Y de façon discrétionnaire, par exemple en fonction de l'expérience ou de la familiarité du décideur de certains gains ou de certaines pertes (qui, d'ailleurs, n'ont nullement besoin d'être mesurés en unités monétaires, celles-ci n'étant là, comme dans les deux méthodes précédentes, que par commodité et en raison de leur usage courant par tout le monde).

Une fois X et Y fixés, on construit un tableau similaire au tableau précédent et on fait varier q dans l'une des colonnes. La valeur de q\* - toujours déterminée selon une méthode similaire à celle que l'on a utilisée plus haut ou une variante - permet de déterminer la probabilité p recherchée. Si X = 1000 € et Y = 800 €, il vient évidemment immédiatement  $p = q^*$ .

Sinon :  $p = \{ [q^*.X + (1-q^*).Y] / 1800 \} + 4/9$

L'avantage de poser  $X = 1000$  et  $Y = 800$  est que la méthode est alors insensible à la rationalité de l'individu (il suffit d'écrire l'évaluation de chacun des paris côte à côte pour s'en apercevoir, même sans aucun calcul), ce qui lui confère une grande robustesse. On obtient immédiatement, comme noté ci-dessus,  $p = q^*$ .

#### 4.3.2.4. BIAIS POTENTIELS, REVISION

Des biais potentiels ont été documentés. Il importe de les minimiser par différentes astuces ou par le choix de la méthode et des variables retenues pour son application, ainsi que les valeurs numériques choisies....

Il est bien clair que des informations supplémentaires peuvent survenir sur le phénomène, par exemple on peut « faire son expérience » progressivement. On « révisé » alors la probabilité initiale par le théorème de Bayes au fur et à mesure...

## 5. LES METHODES D'EVALUATION

*N.B. : Sur ce dernier point, le travail du groupe n'a été qu'ébauché*

### 5.1. LES ENJEUX

On se positionne dans le domaine de l'anticipation et de la prévention, plutôt que dans celui de la gestion de la conséquence une fois le risque avéré.

Les enjeux sont liés aux méthodes d'estimation et d'évaluation du risque, celles-ci devant être globales, à la fois techniques et économiques

Ces enjeux sont à analyser par rapport :

- à ceux qui initient le risque
- à ceux qui subissent le risque
- et ceci dans les dimensions scientifiques, techniques, économiques et sociales.

### 5.2. LES METHODES

La méthode d'évaluation procède en 2 étapes :

La **détermination des règles de hiérarchisation** : elle consiste à déterminer la façon dont on va déterminer la criticité d'un risque, cette criticité étant une mesure faite en combinant la probabilité et la gravité (la criticité la plus simple étant le produit de la probabilité par la gravité).

La **détermination du degré d'acceptabilité**, permettant de déterminer sur la base de critères (souvent subjectifs) si :

Le risque est **acceptable** : dans ce cas aucune action de traitement n'est envisagée,

Le risque est **à suivre** : dans ce cas aussi aucune action de traitement n'est envisagée, mais le risque est mis sous contrôle et réévalué en permanence pour vérifier s'il devient acceptable ou inacceptable,

Le risque est **inacceptable** : dans ce cas, il faut envisager une action de traitement.

Cette détermination du degré d'acceptabilité conditionne fortement la manière dont les risques seront gérés pendant le déroulement du projet.

Ce degré d'acceptabilité peut être :

- **scientifique** par la détermination de seuil au delà desquels le projet n'est plus rentable, ou faisable (une criticité qui conduit à un surcoût « important » n'est scientifiquement pas acceptable),

- **à dire d'expert** par la détermination de points de vue subjectifs dépendants de l'acteur interrogé,

- **collégial** en essayant de trouver un consensus « d'acceptabilité raisonnable » entre les scientifiques et les « experts ».

## ANNEXE 5.

## Thème 4

**Retour d'expérience :  
diagnostic, sûreté, risque et gestion des ouvrages et des sites**

*Préambule*

*Le thème 4 du GIS MR-GenCi dédié au retour d'expérience en génie civil a réuni les organismes et leurs représentants suivants (par ordre alphabétique) :*

- Cemagref : Corinne CURT, Laurent PEYRAS
- CERIB : Etienne BOUCART
- CSTB : Aurélie TALON, Julien HANS
- ESIGEC - LOCIE : Nicole HENRIET et Pascal PERROTIN
- LCPC : Philippe LEPERT, Tristan LORINO
- SNCF : Gilles REBOUL, Jean François KERSALE
- Université Blaise PASCAL – CUST : Daniel BOISSIER, Marc SOLARINO
- Université Marne la Vallée : Katia LAFFRECHINE, Youssef DIAB

*L'animation générale du thème 4 et la rédaction du rapport de synthèse ont été assurées par Daniel BOISSIER et Laurent PEYRAS, sachant que par ailleurs, chacun des membres du thème 4 a contribué activement aux travaux, aux relectures et à la mise au format de ce document.*

*Le groupe de travail du thème 4 s'est réuni trois journées avant de remettre son rapport définitif :*

- à Paris (SNCF) le 14 octobre 2003,
- à Clermont Ferrand (CUST) le 6 janvier 2004,
- à Aussois (CAES – CNRS) les 15-16 mars 2004.

*Les animateurs du thème 4 tiennent ici à remercier les membres de ce groupe pour leur participation active et constructive et pour l'intérêt qu'ils ont porté à ce travail.*

## *Introduction*

A l'instar de nombreux domaines de l'industrie (l'industrie à risque, l'industrie de production...), le retour d'expérience revêt une importance particulière en génie civil, pour l'analyse des défaillances des systèmes de génie civil et pour la sûreté des ouvrages et des sites, mais également pour d'autres activités qui sont examinées dans ce rapport.

On retient pour « retour d'expérience » le sens classiquement entendu, à savoir les informations issues d'une épreuve considérée au sens large : une expérimentation, un incident ou accident, un vécu, une expertise... La traduction anglaise de « retour d'expérience » (*feedback*) permet de bien représenter la définition entendue ici, la *réaction* d'un système (de génie civil) confronté à un événement, un phénomène.

Les données du retour d'expérience peuvent avoir des formats très différents selon les secteurs du génie civil : mesures expérimentales (en laboratoire ou in situ), informations expertes, observations visuelles, données d'auscultation... Ces formats vont donner logiquement autant de pratiques différentes de capitalisation du retour d'expérience, puis ensuite de traitement et enfin de valorisation des informations capitalisées pour le diagnostic, l'évaluation de la sécurité, l'analyse de risques ou encore la gestion des ouvrages et des sites.

Le thème 4 du GIS présente l'avantage, pour un tel sujet, de réunir des experts de secteurs du génie civil où la pratique du retour d'expérience apparaît très différente. Notre travail a donc consisté à dresser un panorama des pratiques des différents organismes, au moyen d'exposés successifs et d'un questionnaire détaillé, puis d'en établir la synthèse. Même si ce travail n'a pas balayé tous les domaines du génie civil (à l'instar du nucléaire et de l'Offshore qui ne sont pas représentés au sein du thème 4), nous nous sommes efforcés d'examiner exhaustivement l'ensemble des approches disponibles.

Le document s'articule en trois parties. La première s'intéresse au recueil du retour d'expérience. Elle examine le format des données collectées et les différents moyens de capitalisation.

La seconde partie propose une synthèse des différentes approches de traitement des données du retour d'expérience. On distingue les approches analytiques (traitements physique et fiabiliste) et les approches systémiques (traitements par les statistiques et par expertise).

La valorisation du retour d'expérience apparaît au final différente selon le domaine du génie civil. Selon les cas, le retour d'expérience intervient dans le diagnostic des défaillances des systèmes, dans l'évaluation de la sûreté (les niveaux de protection) ou encore dans la prévision des évolutions des ouvrages dans le temps, pour l'aide à la gestion patrimoniale (d'un ouvrage ou d'un parc d'ouvrages) ou pour l'analyse de risques. C'est l'objet de la troisième partie du rapport.

## 1. Recueil du retour d'expérience

Selon les domaines du génie civil, le recueil du retour d'expérience est susceptible de s'opérer de façons différentes. Différents paramètres entrent en jeu : le format des informations qui sont recueillies et recherchées, la façon dont le recueil est organisé. On propose de distinguer les approches suivantes du recueil du retour d'expérience :

- le recueil du retour d'expérience basé sur l'expérimentation dirigée ;
- le recueil du retour d'expérience basé sur l'auscultation (visuelle ou instrumentée) des ouvrages en service ou sur une occurrence de défaillance.

### *1.1 Le recueil du retour d'expérience basé sur l'expérimentation dirigée*

Il s'agit là du moyen le plus naturel d'obtenir des informations relatives au retour d'expérience ; à partir d'expérimentations dirigées, on collecte des données issues de ces essais qui revêtent la forme d'observations et/ou de mesures. Ces expérimentations peuvent présenter plusieurs formats correspondant à différentes échelles spatiales et temporelles : essais en laboratoire ou in situ concernant la structure réelle (ou partie de la structure) v/s essais sur modèles réduits, essais en temps réel v/s en temps accéléré, ou encore essais à partir de modèles et simulations numériques, expériences stochastiques, etc.

Cette approche expérimentale du retour d'expérience est utilisée de façon historique en génie civil. Elle concerne les produits du génie civil de fabrication standard ou de série (tels les produits préfabriqués) ou encore les ouvrages à caractère unique qui peuvent être expérimentés sur site. Nous donnons quelques exemples d'utilisation de cette approche.

#### Produits préfabriqués en béton

Dans le domaine des produits préfabriqués en béton, le recueil d'expérience est utilisé pour des poutres (rectangulaires, en I, à inertie variable – voir figure 1), des dalles alvéolées (extrudées et filées), des poteaux (rectangulaires et circulaires), des éléments de plancher nervuré et des éléments de dalle pleine. Des études expérimentales sont conduites sur ces éléments structuraux représentatifs de la production de produits de structures préfabriqués et les paramètres principaux sont mesurés.



Fig. 1 : Stockage de poutres en I préfabriquées

Dans une étude récente (CERIB, 03), les procédures de fabrication, d'essai et de mesure dans différentes usines européennes de préfabrication ont pu être comparées et ont permis d'identifier différents niveaux de qualité (par exemple sur la maîtrise de la géométrie des produits). Ainsi, une base de données générale sur les valeurs mesurées des géométries et des résistances (mesurées sur carottes ou sur éprouvettes moulées) a pu être constituée.

### Exemple des ouvrages en montagne

Une autre approche du recueil du retour d'expérience par l'expérimentation est pratiquée sur des ouvrages en montagne (les paravalanches, les pareblocs). Il s'agit là d'ouvrages à caractère unique, soumis à des sollicitations extrêmes liées à des aléas mal connus tels les chutes de bloc et les mouvements de terrain. Compte tenu de la nature très spécifique des sollicitations et du fonctionnement de ces ouvrages, l'approche retenue dans un tel contexte est l'expérimentation sur site du comportement de dalles de protection face aux chutes de blocs (Fig. 2). Des essais en grandeur nature ont été réalisés et permettent de collecter des mesures d'endommagement (Mougin *et al*, 04).



Fig.2 : Dalle de test inclinée

### Essais en vieillissement accéléré

Le recueil du retour d'expérience basé sur l'expérimentation est également mis en œuvre lors des essais en vieillissement accéléré. Le principe de ces essais est de « concentrer » l'environnement étudié (soit en nombre de cycles, soit en agressivité) pour qu'une durée réelle puisse être simulée sur une courte durée. Il est alors possible de suivre l'évolution des propriétés d'un matériau soumis à des sollicitations diverses et d'évaluer alors son aptitude à remplir une fonction donnée pendant une certaine durée.

Les essais en vieillissement accéléré les plus courants sont :

- les essais sous rayonnement ultraviolet (succession d'heures d'éclairement, selon un protocole défini, dans un Wezerométeur – ISO 4892) souvent utilisés pour les plastiques et les enduits de façade (Fig. 3) ;

- les essais thermiques et hydriques (chaleur sèche en enceinte ventilée, chaleur humide, cycle séchage – humidité, cycle immersion – séchage, ...) réalisés en enceinte contrôlée et pilotée avec sondes, pour tout type de matériau ;
- les essais mécaniques (usure, frottement, fatigue) essentiellement pour les revêtements de sol et les éléments de structure ou d'équipement.



Fig. 3 : Photographie de l'enceinte d'un wezeromètre  
(essai en vieillissement accéléré sous rayonnement ultraviolet)

## *1.2 Le recueil du retour d'expérience basé sur l'auscultation (visuelle ou instrumentée) des ouvrages en service*

### *1.2.1 Analyse systématique*

Il s'agit là d'une approche du recueil du retour d'expérience utilisée classiquement dans les secteurs du génie civil présentant des ouvrages à grand linéaire, tels les réseaux enterrés, les routes, les digues, etc. Les données du retour d'expérience sont obtenues par l'auscultation des ouvrages, cette dernière étant organisée au moyen de l'observation visuelle ou de relevés instrumentaux et appuyée plus ou moins fortement par une part d'expertise, liée le plus souvent à l'expérience de l'agent chargé des observations visuelles ou de la manipulation technique des instruments.

Cette approche est mise en œuvre dans le cas du parc de chaussées en France (Bertrand *et al*, 98). Dans ce cas là, les données du retour d'expérience acquises sur site sont de deux natures :

- données recueillies visuellement par des agents qualifiés (procédure de qualification renouvelée annuellement), selon une méthode normalisée qui s'appuie sur un catalogue précisant la définition des dégradations et de leurs niveaux de gravité (Lepert *et al*, 98) ; ces agents utilisent un ordinateur spécialisé, embarqué à bord de leur véhicule, qui leur permet de saisir leurs observations et positionne celles-ci grâce à un podomètre avant de les enregistrer dans un fichier ;
- données mesurées par des appareils (Fig. 4), relatives à des propriétés telles que la rigidité de la chaussée ou l'adhérence de son revêtement ; ces appareils sont qualifiés et vérifiés régulièrement, et mis en œuvre selon une procédure précise (Lepert *et al*, 01) ; eux aussi positionnent leurs mesures avant de les inscrire sur fichiers informatiques.

Deux niveaux de recueil de données (relevé et mesure) sont alors réalisés sur ces bases :

- le niveau « réseau » qui vise à évaluer l'état global d'un ensemble de routes et à préparer un programme d'actions d'entretien ; il combine relevés et mesures exécutés selon des procédures permettant de recueillir à bonne cadence des données assez sommaires (ceci ne veut pas dire imprécises, mais plutôt assez agrégées) ;
- le niveau « projet », qui vise à étudier une section en particulier pour définir précisément le type et le dimensionnement des travaux à y faire, et repose sur un recueil d'informations plus détaillé et réalisé à une cadence souvent beaucoup plus faible.



Fig. 4 : Véhicule muni à l'avant d'un Transversoprofilomètre à Ultra-Sons et à l'arrière d'un Analyseur de Profil en Long

On retrouve une approche analogue dans le domaine des réseaux enterrés d'eau et d'assainissement. Les réseaux d'assainissement non visitables sont auscultés au moyen de caméras vidéos qui viennent filmer l'intérieur des conduites (Fig. 5). L'opérateur réalise ensuite un relevé des désordres (cassures, fissures, effondrements,...) consignés dans des rapports d'inspection vidéo. On a donc là des informations du retour d'expérience issues de l'auscultation vidéo des ouvrages (NF EN 752-7).

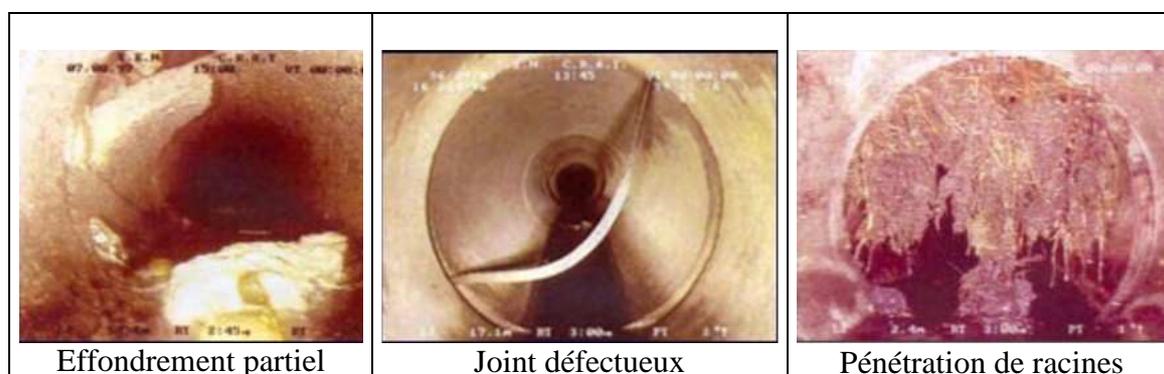


Fig. 5 : Exemples de désordres rencontrés dans les réseaux d'assainissement non-visibles extraits d'inspections télévisées

Dans le domaine des réseaux d'eau potable, les données du retour d'expérience sont également issues de l'auscultation. Elles consistent, soit en des observations visuelles telles que des constatations de fuites directes sur le réseau, soit en des mesures d'auscultation par des moyens plus sophistiqués (mesures des débits la nuit) ou encore sous forme de plaintes d'utilisateurs (manque de pression, "eaux rouges", nuisances olfactives, etc.) (Alegre *et al.*, 2000). Dans le domaine des digues, les données du retour d'expérience sont issues des inspections visuelles que les gardes-digues consignent dans des rapports de visites. Des méthodes d'auscultation à haut débit (Fig. 6), telles que les méthodes géophysiques (sismique réfraction, électromagnétisme à émetteur, résistivité électrique, endoscopie), permettent également de collationner des données du retour d'expérience (Lino *et al.*, 99).



Fig. 6 : Auscultation de la digue par endoscopie

### 1.2.2 Analyse experte

Le recueil du retour d'expérience basé sur l'expertise est une pratique traditionnelle pour les ouvrages d'art du génie civil. Il consiste à collationner des informations sur les incidents, les défauts ou les symptômes traduisant des détériorations par l'inspection visuelle d'experts ou de personnes formées à cette mission. L'analyse experte est pratiquée dans de nombreux domaines du génie civil avec une formalisation des inspections expertes plus ou moins élaborées qui peut être prévue dans le cadre de la surveillance systématique des ouvrages ou réalisée dans le cas d'anomalies ou d'accidents.

Cette approche correspond typiquement à celle qui est pratiquée dans le domaine des barrages (Peyras, 03). Ces ouvrages font l'objet de visites réglementaires lors desquelles l'inspection détaillée des parties hors eau est réalisée par des ingénieurs spécialisés du domaine. Ces observations visuelles (Fig. 7) sont consignées dans des procès-verbaux de visite rédigés par l'expert en charge de l'inspection.



Fig. 7 : Symptôme visuel sur un barrage en remblai

On rencontre cette même approche de recueil du retour d'expérience pour les parcs d'ouvrages gérés par la SNCF (tunnels, ponts, passerelles, ouvrages de soutènements). L'organisation du recueil est faite dans le cadre des visites périodiques des ouvrages par des agents chargés des inspections et formés à cet effet. Ces inspections visuelles, parfois complétées par de l'auscultation, permettent de détecter d'éventuels avaries et désordres, qui sont ensuite consignés dans des procès-verbaux. L'inspection est complétée par une cotation de chaque ouvrage dans le but d'alimenter une base de données générale à l'échelle du parc d'ouvrages. Dans cet exemple, il est important de préciser qu'un travail important de formalisation et de normalisation des avaries et désordres a été réalisé au moyen de documents réglementaires techniques propres à chaque catégorie d'ouvrages, de procès-verbaux types (Fig. 8) et d'une formation spécifique des agents chargés des inspections.

Cette expertise peut aussi améliorer l'estimation des délais de réalisation des ouvrages de génie civil et limiter ainsi les risques de dérapages en coût et en délai.

A titre d'exemple, le LGUEH de l'Université de Marne la Vallée a mis en place une méthode d'analyse du comportement du tunnelier selon le sol urbain rencontré. Cette méthode propose des fonctions d'adéquation entre les composants du tunnelier (selon son type) et les paramètres du sol les plus déterminants. L'adéquation globale du tunnelier à l'ouvrage étudié est obtenue en combinant les adéquations partielles du tunnelier à chaque zone de sol rencontrée. Cette mesure d'adéquation sert alors à estimer la performance de la machine et les délais de réalisation. Toutes ces fonctions d'adéquation ont été élaborées à l'aide de la théorie des sous-ensembles flous. Une représentation d'une fonction d'adéquation est donnée à la figure 9.

**PROCES-VERBAL  
d'inspection détaillée et de visites intermédiaires**

Région de .....

Etablissement .....

Code Unité .....

Date de l'inspection .....

Ligne de ..... à ..... km .....

Nom de l'ouvrage .....

N° ordre

N° de classement géographique

Groupe UIC

**I - RENSEIGNEMENTS GENERAUX**

Pont-rail - route (1) - Passerelle (1) - Tranchée couverte (1) Type : .....

Nombre de voies (PRA) ..... Ballastée oui - non (1) Hauteur de ballast sous traverse : .....

à ..... travée(s) indépendante(s)(1) solidaire(s)(1) de ..... mètres de portée

de ..... mètres d'ouverture droite (1) - biaisé (1) Longueur (tranchée couverte) .....

Etabli sur (1) - sous (1) ..... Situé sur la commune de ..... N° de Dép. ....

Vitesse autorisée ..... Ligne électrifiée : oui (1) - 1500 volts (1) - 25 000 volts (1) - 3° rail - non (1)

Mode d'assemblage : Rivure - Soudure - Boulons HR (1) Nature du métal : forte - fer - acier avant 1950, acier moderne (1)

Nature de protection anticorrosion ..... date(s) de fin de garantie contractuelle : .....

Mode de fondation .....

Date de mise en service .....

Mode de mise en place .....

Existence de la chape d'étanchéité oui - non (1) Nature .....

Existence de pistes cyclables (ou non) ..... Distance vis-à-vis du rail le plus proche .....

Ouvrage soumis à signalisation routière : oui - non (1) Limitation hauteur sur panneau B12 : ..... (PRa) (1)

Limitation largeur sur panneau B11 : ..... (PRa) (1)

Limitation tonnage sur panneau B13 : ..... (PRo) (1)

Présence d'accotements lourds, de poutiques, etc. ....

Garde-corps - Type ..... Hauteur .....

Particularités .....

Moyens de visite nécessaires : .....

**II - CROQUIS OU PHOTO**

Fig. 8 : Extrait d'un procès-verbal d'inspection détaillée

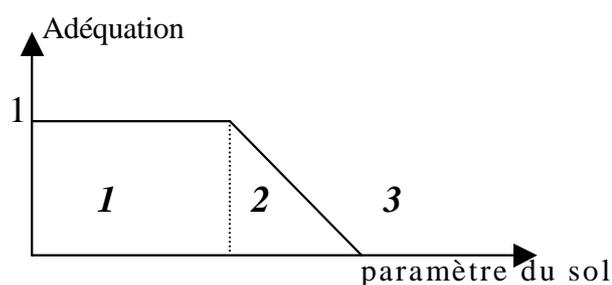


Fig. 9 : Une fonction d'adéquation.

Sur cette figure on distingue 3 zones :

- la zone 1 où le paramètre est entièrement adapté ;
- la zone 2 où il est partiellement adapté ;
- la zone 3 où il ne l'est pas de tout.

Les adéquations ont été estimées en s'appuyant sur les recommandations du Groupe de travail n°4 de l'AFTES reprises dans (AS Zeidan, 02). La combinaison des adéquations a été réalisée à l'aide d'un système d'inférence flou. Le système d'inférence flou sert à modéliser le

procédé d'expertises humaines basé sur des règles linguistiques (Dubois et al, 96). Cette démarche permet aux maîtres d'ouvrages d'estimer les délais de réalisation (délais optimistes, pessimistes et plus probables) de leurs ouvrages en fonction des propriétés des sols rencontrés lors des reconnaissances.

## 2. Traitement du retour d'expérience

Le retour d'expérience est traité de façon différente selon les domaines du génie civil. Les paramètres qui déterminent le type de traitement retenu sont liés aux données du retour d'expérience à analyser : leur quantité (informations abondantes ou pas), leur qualité (complétude/incomplétude et précision/imprécision des informations). On distingue deux approches dans le traitement du retour d'expérience :

- les approches analytiques, incluant les traitements physique et fiabiliste ;
- les approches systémiques, incluant les traitements par les statistiques et expert.

La fusion des données qui permet d'unifier des données provenant de différentes origines (expertes, expérimentation, auscultation) est une approche complémentaire.

### 2.1 Approches analytiques du traitement du retour d'expérience

#### 2.1.1 Traitement physique du retour d'expérience

Il s'agit de l'approche traditionnelle en génie civil du traitement du retour d'expérience. Les données expérimentales ou issues de l'auscultation, recueillies sur le système étudié, sont intégrées dans des modèles physiques d'analyse de comportement (modèles physiques, mécaniques, hydromécaniques, modèles couplés, etc.) ou des modèles d'états - limites (modélisation des pertes de fonctionnalité, des modes de ruine ou des pertes d'équilibre statique). On a donc ici une approche physique (ou encore « mécaniste ») du traitement des informations, au moyen des équations régissant les conditions d'états - limites du système ou de son comportement (déplacements, déformations, contraintes, transferts de flux,...).

Le traitement des informations expérimentales sur les ouvrages de montagne, tels les paravalanches ou les pareblocs, illustre cette approche du traitement du retour d'expérience par approche physique (MOUGIN *et al*, 04). Les données collectées lors des expériences in situ de chutes de blocs sur les dalles en béton sont intégrées dans un outil de suivi numérique capable de décrire les dommages de la structure (Fig. 10). Cela permet ensuite de caractériser les chocs (et donc l'aléa), de quantifier l'endommagement subit par l'ouvrage et de prévoir la résistance résiduelle.

Cette approche ne peut être faite sans l'aide d'outils numériques performants.

Cette approche physique du traitement du retour d'expérience n'est possible que dans la mesure où les lois de comportement du système étudié et les mécanismes en jeu restent suffisamment simples pour être modélisés par les équations de la physique. Les données du retour d'expérience permettent alors d'élaborer des modèles physiques de comportement ou d'états-limites et de caler les paramètres inhérents à ces modèles.

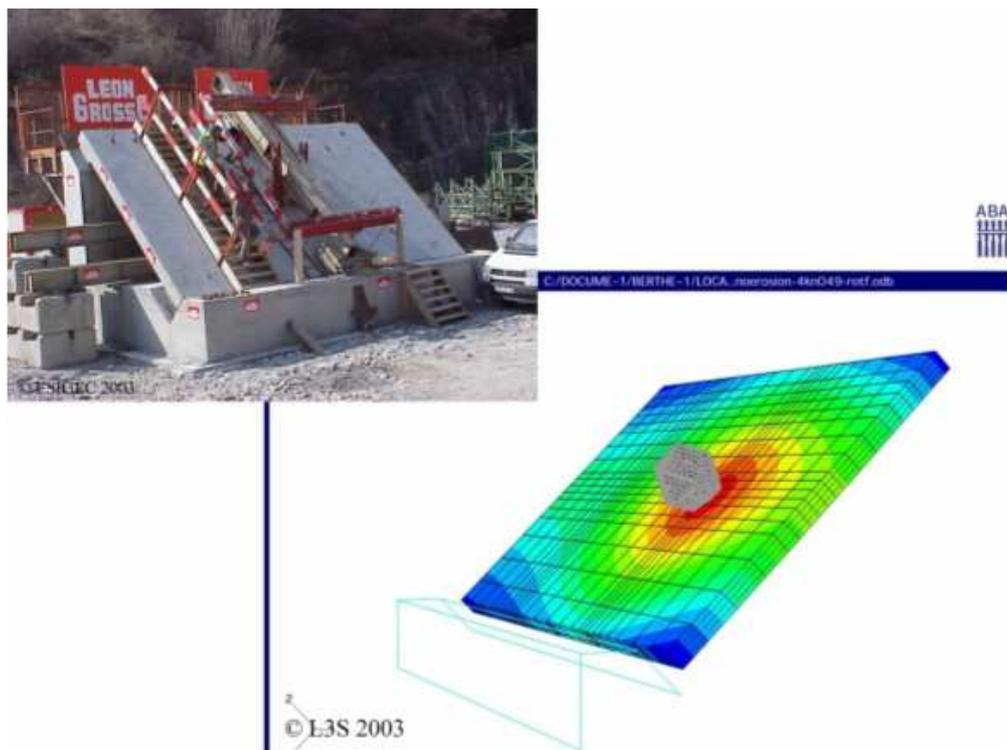


Fig. 10 : Expérimentation LOCIE – Analyse Numérique L3S

### 2.1.2 Traitement fiabiliste du retour d'expérience

L'approche fiabiliste du traitement du retour d'expérience constitue une extension particulière de l'approche physique vue précédemment. Sur la base de modèles physiques de comportement ou d'états-limites et à partir de données de retour d'expérience (données expérimentales, données issues de modélisation) abondantes, précises et complètes, il est possible d'utiliser une approche fiabiliste, basée soit sur la connaissance des facteurs aléatoires, soit sur la détermination des taux de défaillance des composants de l'ouvrage.

La démarche adoptée pour les ouvrages préfabriqués en béton illustre cette approche fiabiliste du traitement du retour d'expérience (CERIB, 02). Les données expérimentales collectées sur les structures préfabriquées permettent de constituer une base de données générale sur les valeurs mesurées des géométries et des résistances. L'analyse statistique de cette base permet de définir les coefficients de variation moyens pour la résistance du béton, le poids propre et d'autres paramètres statistiques (coefficient de passage entre résistance sur éprouvettes moulées et sur carottes, etc.). Ensuite, la calibration des coefficients partiels est effectuée à partir d'états limites sur les éléments préfabriqués. L'objectif est de trouver un ensemble de coefficients partiels tel que la valeur cible de l'indice de fiabilité soit approchée au plus près (méthode FORM).

Cette approche fiabiliste du traitement du retour d'expérience n'est possible que dans la mesure où l'on dispose, d'une part, de données abondantes, précises et complètes, d'autre part, de modèles d'états-limites peu complexes et faciles à modéliser physiquement. On rencontre de telles données dans le cas d'ouvrages réalisés en grande série (telles les structures préfabriquées) ou encore d'ouvrages pour lesquels des modèles d'états-limites peu complexes existent et des essais expérimentaux abondants ont pu être réalisés, comme c'est le cas dans l'industrie offshore ou le génie civil du nucléaire (Crémona, 03).

## 2.2 Approches systémiques du traitement du retour d'expérience

### 2.2.1 Traitement du retour d'expérience par les statistiques

L'approche par les statistiques est utilisée dans les secteurs du génie civil où on dispose de données du retour d'expérience abondantes et bien documentées et pour lesquels il est généralement difficile d'établir des modèles physiques ou fonctionnels de comportement des structures, du fait de leur complexité. Dans ces situations, on cherche à établir des corrélations entre les informations du retour d'expérience et un certain nombre de facteurs explicatifs. Une fois établie l'influence des principaux facteurs, il est alors possible de prévoir les défaillances d'une structure en fonction des paramètres qui lui sont propres (son âge, son histoire, sa composition, son environnement,...).

On rencontre cette approche par les statistiques en particulier dans le génie civil des ouvrages à grand linéaire, tels que les réseaux enterrés ou les routes. Dans le domaine des réseaux d'eau (alimentation en eau potable et assainissement), on recherche des corrélations entre les dégradations, les dysfonctionnements du réseau et des variables explicatives telles que la hauteur du remblai, la classe du trafic, la hauteur de la nappe, la position sous chaussée ou sous trottoir, etc. A ce titre, on peut en particulier citer des travaux sur les réseaux d'assainissement (Laffréchine, 99) et ceux sur les réseaux d'alimentation en eau potable (Malandain, 99).

Les réseaux routiers en France fournissent une illustration analogue de cette approche par les statistiques (Goux *et al*, 00).

Pour les études au niveau « réseau », les données sont agrégées par tronçons de longueur prédéterminée (souvent 200 mètres), par calcul de moyenne ou d'autres indicateurs statistiques. Elles sont ensuite sauvegardées dans une base de données routières. Dans cette base, elles sont rapprochées d'autres informations sur la nature de la chaussée, son âge, son trafic, etc. A partir de cette base on réalise des calculs d'évaluation de l'état de dégradation des tronçons et de programmation des travaux.

Pour les études au niveau « projet », les informations recueillies sont analysées soit sur des « schémas d'itinéraire » produits par un logiciel d'exploitation à partir des fichiers de relevés et de mesures, soit par un système expert. Une méthode d'étude spécifique décrit la procédure à suivre pour conduire ces études.

Pour être complet sur le domaine des réseaux routiers, des travaux de recherche en cours visent à développer des approches purement statistiques (Fig.11), à l'instar de ce qui se pratique sur les réseaux enterrés. Il s'agit là d'établir des corrélations entre les défaillances des chaussées (déformations, fissurations) et des facteurs explicatifs tels que la composition de la couche de roulement, la classe de trafic, la température... (Courilleau, 97), (Reche, 04)

En synthèse, l'approche par les statistiques est utilisée pour des ouvrages présentant des données abondantes et qu'il est difficile d'analyser de façon mécanique. On s'oriente alors vers des traitements statistiques qui consistent à rechercher les corrélations entre les défaillances du système et des facteurs explicatifs. En génie civil, les ouvrages à grand linéaire sont le domaine privilégié de ces approches.

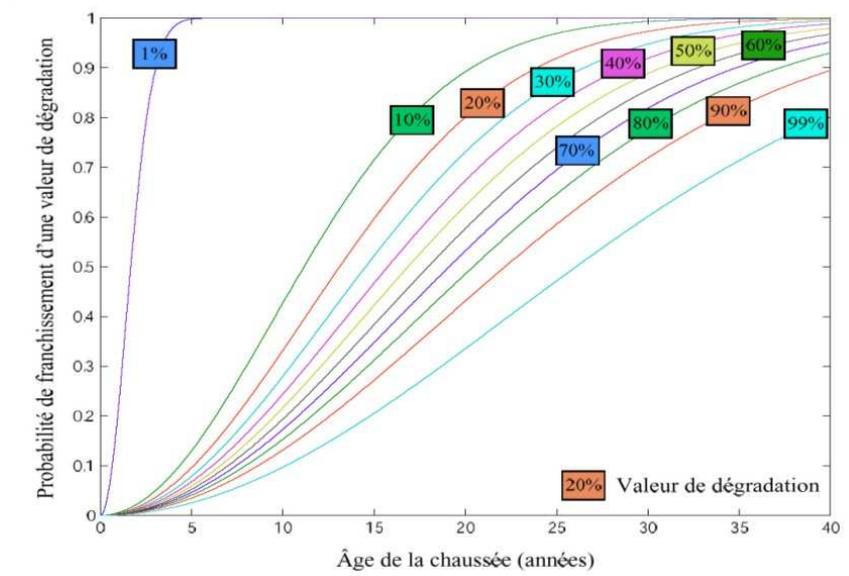


Fig. 11 : Courbes d'évolution - probabilités de franchissement d'une certaine valeur de dégradation (exprimée ici en pourcentages).

### 2.2.2 Traitement expert du retour d'expérience

L'approche experte est mise en œuvre dans les cas d'ouvrages hétérogènes ou d'ouvrages homogènes en petit nombre, ou encore d'ouvrages mal connus où les données disponibles sont peu abondantes, incomplètes ou imprécises. Dans ces situations, il n'est pas possible de s'orienter vers des approches physiques, fiabilistes ou statistiques des données du retour d'expérience et une démarche experte est adoptée. Elle consiste à utiliser les informations du retour d'expérience comme un référentiel, sur lequel les experts vont s'appuyer et s'aider pour réaliser leurs missions de diagnostic, d'analyse de risques, d'évaluation des défaillances et de la sécurité.

Cette approche experte du traitement du retour d'expérience est mise en œuvre sur le parc d'ouvrages de la SNCF. Elle se caractérise par les étapes suivantes :

- accumulation d'informations, sous forme de PV de visite, récapitulant les analyses des inspections détaillées et les cotations des ouvrages ;
- analyse bibliographique sur l'ouvrage et consultation des précédents PV ;
- comparaison et analogie avec des cas antérieurs ;
- préfiguration de l'évolution future de l'ouvrage (expertise) ;
- prescription de travaux et ordre de priorité de réalisation.

Dans le domaine des barrages, des travaux de recherche en cours visent à faciliter une utilisation de cette approche par expertise. Ils consistent à construire, d'une part une base de connaissances sur les mécanismes de vieillissements des barrages, d'autre part, des bases de données d'études de cas de barrages ayant connu des dégradations. Par référence à des ouvrages de même type soumis à des mécanismes analogues, ces bases de données sont destinées à aider les experts dans leurs missions de diagnostic et d'analyse de risques (Fig. 12).

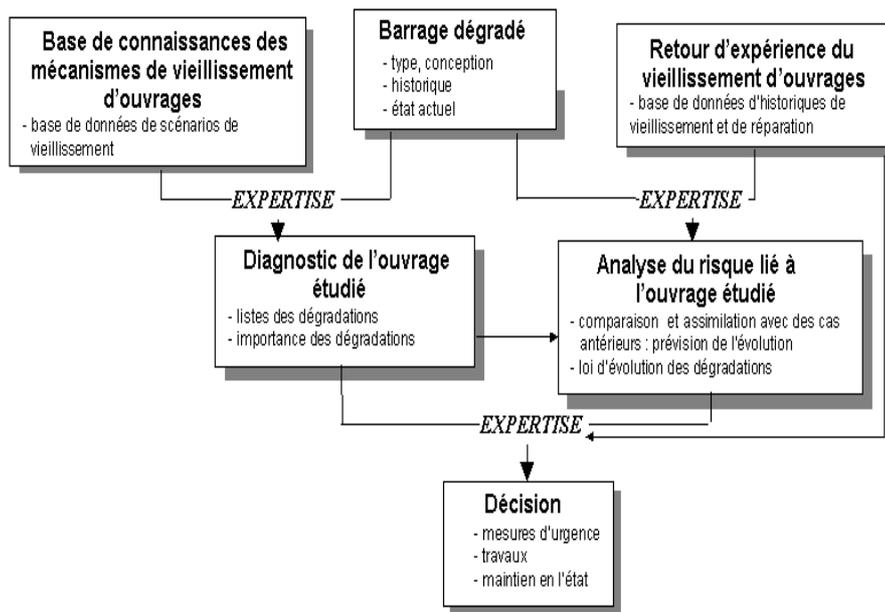


Fig. 12 : Démarche d'aide au diagnostic et à l'analyse de risques pour les barrages

En synthèse, l'approche experte trouve un domaine privilégié d'application dans le cas d'ouvrages hétérogènes ou à caractère unique, difficilement modélisables à faible coût et présentant des mécanismes complexes.

### 2.3 Une approche par homogénéisation des informations du retour d'expérience : la fusion des données

Cette approche permet la structuration des multiples informations disparates du retour d'expérience et ensuite leur fusion. Elle a été développée dans le domaine du bâtiment (Lair, 00) à des fins d'évaluation de la durabilité des produits de construction. Elle comporte quatre étapes : la collecte des informations de durée de vie, l'évaluation de leur qualité, la fusion des données et l'exploitation des résultats.

La connaissance des experts et des industriels, les essais expérimentaux, les données issues de la modélisation et toutes autres sources d'informations issues du retour d'expérience peuvent être utilisées. Un point essentiel de la démarche est d'analyser l'origine de chaque donnée pour lui associer un indicateur de qualité.

Dans le cas de la durée de vie des produits de construction, on recense des informations complémentaires telles que la définition du produit, les conditions de sollicitation et d'usage, la qualité de la conception, de mise en œuvre, de maintenance, la compétence de l'auteur de la donnée,...pour estimer la qualité de chaque donnée et estimer alors une durée de vie du produit en associant à cet estimateur un indicateur de qualité.

La méthode opérationnelle est désormais disponible et comprend une base de données de durée de vie des produits du bâtiment et un outil de fusion des données. La base de données a été élaborée pour faciliter la recherche des informations et capitaliser la connaissance (Fig. 13).

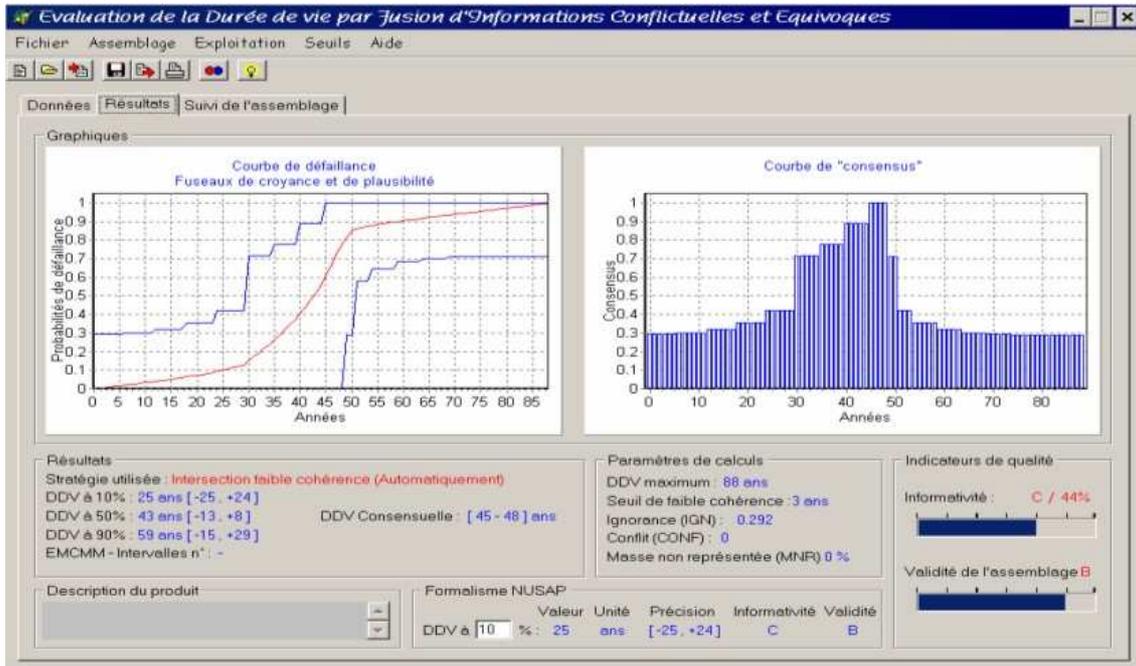


Fig. 13 : Capture d'écran du logiciel de fusion des données – Résultats pour un exemple de fenêtre PVC

### 3. Valorisation du retour d'expérience

La valorisation du retour d'expérience peut présenter différentes formes selon les contextes et les domaines du génie civil. On propose ici une présentation de la valorisation en se plaçant dans un axe temporel ; trois préoccupations sont décrites :

- le diagnostic ;
- l'évaluation de la sûreté ;
- la prévision des évolutions, pour l'analyse de risques et la gestion des ouvrages.

#### 3.1 Le retour d'expérience pour le diagnostic des défaillances

Il s'agit là d'utiliser les données du retour d'expérience pour le diagnostic des défaillances d'un ouvrage du génie civil. Dans cette application, les données permettent de déterminer la (ou les) cause(s) de la défaillance d'un système (expertise de la défaillance). Le diagnostic par l'utilisation du retour d'expérience peut être appliqué à l'échelle d'un ouvrage en utilisant les données relevant d'un parc ou d'un ensemble d'ouvrages, ou encore, à l'échelle d'un parc d'ouvrages en travaillant à partir soit d'échantillons représentatifs d'ouvrages soit de statistiques exhaustives sur l'ensemble du parc.

Le retour d'expérience pour le diagnostic des ouvrages est utilisé dans le cas des barrages. A partir de leur connaissance générale de la pathologie des barrages, connaissance provenant à la fois de manuels techniques et du retour d'expérience, les experts du domaine établissent le diagnostic des dégradations d'un barrage en service et déterminent le mécanisme en jeu à l'origine de ces dégradations .

Relevant encore du domaine de la recherche et développement, cette démarche de diagnostic des barrages par le retour d'expérience vise à être appuyée, à moyen terme, par des outils d'aide spécifiques. Il s'agit de mettre à disposition des experts une base de connaissances sur la pathologie des barrages incluant les différents symptômes susceptibles d'être observés. Aidé par une telle base d'informations, l'expert dispose d'un outil d'aide au diagnostic (Fig. 14), auquel il peut se référer pour déterminer le mécanisme en jeu à l'origine des détériorations et prononcer un diagnostic des défaillances (Peyras, 03).

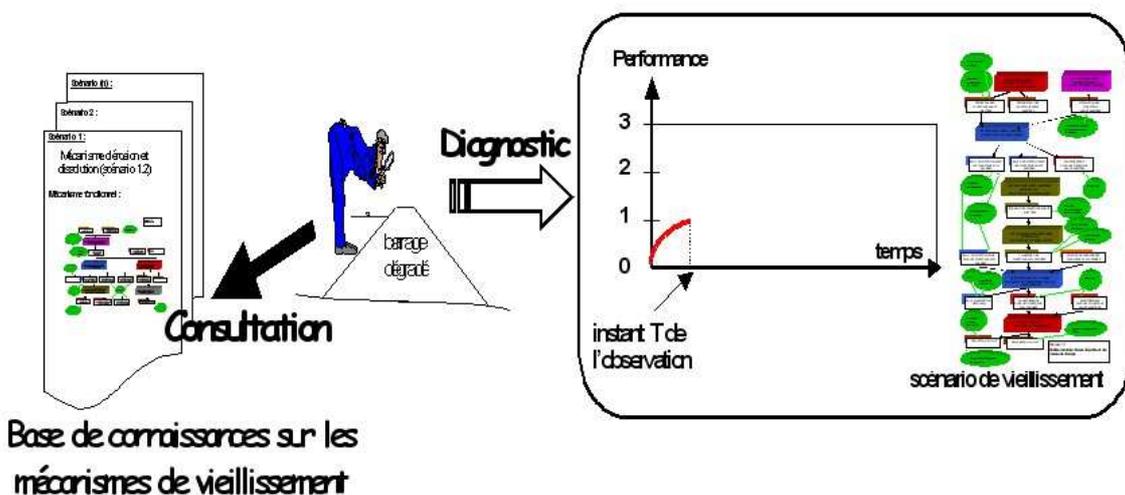


Fig. 14 : Démarche de l'aide à l'expert pour le diagnostic des défaillances des barrages

### 3.2 Le retour d'expérience pour l'évaluation de la sûreté

Le retour d'expérience peut être utilisé pour l'évaluation de la sûreté. Il s'agit dans ce cas d'évaluer la sécurité, le niveau de protection, la durabilité ou l'état d'un ouvrage sans nécessairement analyser les conséquences néfastes des évolutions ou des défaillances.

Cette démarche est mise en œuvre sur les ouvrages préfabriqués en béton (Fig. 15). Les données du retour d'expérience sont utilisées pour évaluer la sécurité de ces structures et optimiser les coefficients partiels correspondant à un indice de fiabilité cible (CERIB, 03). Cette approche doit permettre au final une adaptation des réglementations du dimensionnement des structures au secteur de la préfabrication en béton.



Fig. 15 : Poteaux préfabriqués

Les données du retour d'expérience sont utilisées de façon analogue en évaluation de la sécurité pour les ouvrages en montagne (ouvrages paravalanches et pareblocs). Les données expérimentales issues d'essais in situ permettent par la suite d'évaluer la sécurité des ouvrages en service ou de dimensionner au mieux les ouvrages en projet.

Le retour d'expérience est également utilisé en évaluation de la sécurité dans le domaine des réseaux d'assainissement (Le Gauffre, 01) ou encore des réseaux d'alimentation en eau potable (Le Gauffre *et al*, 04), (Poinard *et al*, 04).

Par exemple, dans le domaine des réseaux d'eau potable enterrés, on a établi, par traitement statistique des données du retour d'expérience, les corrélations entre les défaillances des réseaux (les fuites des conduites) et certains facteurs explicatifs (trafic, couverture, charge, composition, géologie,...). Une fois ces corrélations établies, elles peuvent être utilisées pour la gestion patrimoniale de ces réseaux dans le but de prévoir les défaillances (Eisenbeis *et al*, 04) ou encore pour aider les gestionnaires à établir des stratégies de réhabilitation.

Enfin, la fusion des données proposée pour les produits constructifs du bâtiment permet de prendre en considération toutes les informations du retour d'expérience. La valorisation de cette fusion est une estimation de la durée de vie des produits du bâtiment (Lair, 00).

### 3.3 *Le retour d'expérience pour la prévision des évolutions*

Une valorisation essentielle du retour d'expérience est la prévision des évolutions des ouvrages du génie civil. Elle concerne deux activités : l'analyse de risques et la gestion patrimoniale d'un ouvrage ou d'un parc d'ouvrages.

#### 3.3.1 *Le retour d'expérience pour l'analyse de risques*

Les données du retour d'expérience sont également valorisées en analyse de risques. En effet, il est possible d'évaluer le risque lié à des défaillances possibles, d'une part en prévoyant les évolutions futures des ouvrages dans le temps et notamment les défaillances à venir, et d'autre part en prévoyant les délais nécessaires pour atteindre ces défaillances (en y incluant éventuellement l'étude des conséquences potentielles).

Cette approche de l'analyse de risques est couramment utilisée par les experts des barrages. Par référence à leur vécu professionnel ou par référence aux informations du retour d'expérience issues de la littérature, les ingénieurs spécialisés sont à même de faire des prévisions des détériorations futures d'un barrage compte tenu du mécanisme auquel il est soumis, et sont à même de prévoir les délais nécessaires pour atteindre ces détériorations, compte-tenu de la cinétique du mécanisme en jeu.

Relevant encore du domaine de la recherche et développement, cette démarche d'analyse de risques des barrages par le retour d'expérience vise à être appuyée, à moyen terme, par des outils d'aide spécifiques. Il s'agit de mettre à disposition des experts une base de données d'historiques de vieillissement des barrages (c'est-à-dire une base d'études de cas de barrages ayant connu des détériorations). Aidé par une telle base d'informations, l'expert dispose d'un outil d'aide à l'analyse de risques, auquel il pourra se référer pour déterminer les évolutions prévisibles et la cinétique du mécanisme à l'origine des détériorations sur le barrage en cours d'étude (Peyras, 03).

Dans le contexte du bâtiment, les connaissances et le retour d'expérience des experts sont valorisés à plusieurs niveaux. Ils permettent de modéliser le comportement fonctionnel du produit en exploitation, d'identifier et de caractériser les scénarios de défaillances courants, de rechercher ceux qui sont moins connus mais dont les conséquences peuvent être graves et enfin de quantifier l'évolution temporelle des dégradations conduisant à des scénarios de défaillance.

Relevant du domaine de la recherche et du développement, cette démarche d'évaluation des risques de dysfonctionnement des produits de construction vise à être une aide à la conception auprès des fabricants, des entrepreneurs, des maîtres d'ouvrage, etc. et une aide à la gestion de la maintenance auprès des gestionnaires de bâtiments (Fig. 16).

Cette démarche consiste en une modélisation structurelle et fonctionnelle du comportement du produit dans son environnement, lors de son exploitation, en tenant compte des dégradations qu'il a pu subir lors de son processus de construction (Talon *et al*, 04). Cette modélisation permet l'identification des dégradations (en termes de modes, de causes et de conséquences) des composants du produit, et de leurs enchaînements conduisant à la défaillance du produit (scénarios de défaillance). L'évaluation de la criticité de ces scénarios en termes d'occurrence, de gravité et de détectabilité et la détermination des cinétiques de dégradation permettent d'identifier les scénarios les plus critiques et de prévoir leurs apparitions.

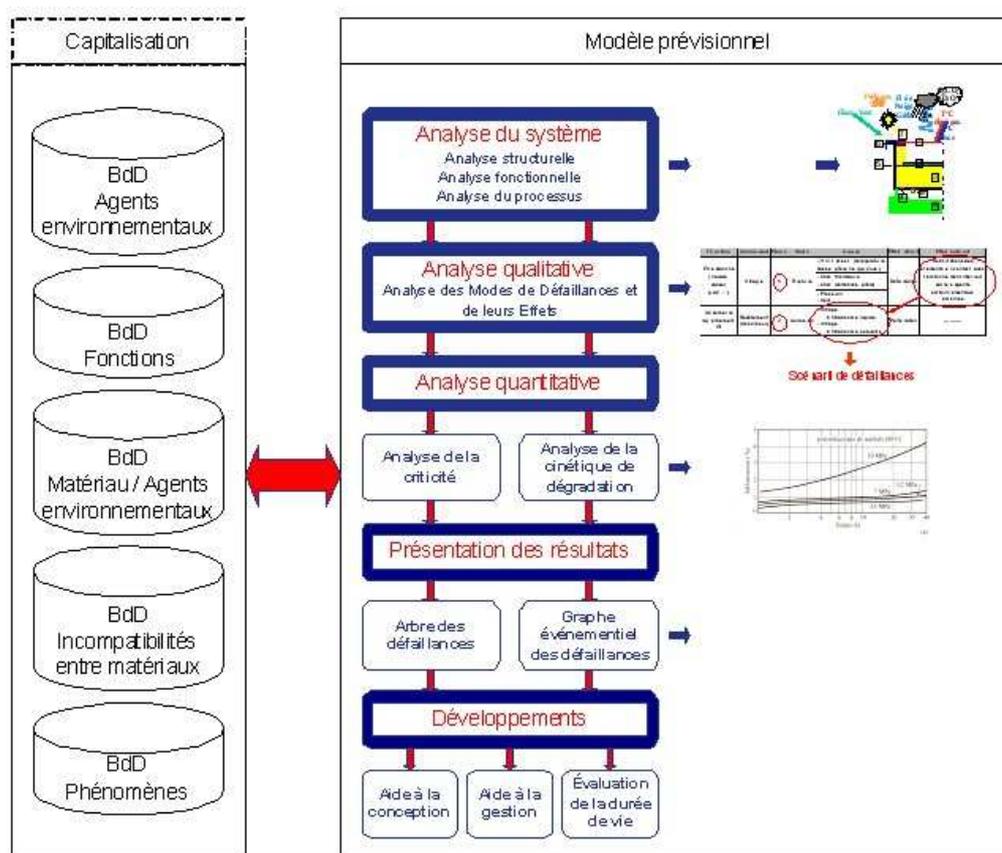


Fig. 16 : Méthode d'analyse des risques de dysfonctionnement des produits du bâtiment

### 3.3.2 Le retour d'expérience pour la gestion patrimoniale

Les données du retour d'expérience sont utilisées en gestion patrimoniale dans certains parcs d'ouvrages du génie civil. En prévoyant les évolutions futures des ouvrages dans le temps (par approche statistique ou traitement par expertise), il est possible d'anticiper les dégradations à venir à l'échelle d'un ouvrage ou à l'échelle d'un parc d'ouvrages et d'intervenir au moment optimum où la réparation présentera le ratio technico-économique le meilleur.

Plusieurs gestionnaires valorisent le retour d'expérience pour leur gestion patrimoniale. Ainsi, la SNCF utilise le traitement expert des données du retour d'expérience de ses parcs pour établir les politiques nationales de maintenance ; elle l'utilise aussi à l'échelle de l'ouvrage par le traitement des PV de visites d'inspection et à l'échelle d'un parc par le traitement de la cotation.

Une valorisation analogue est réalisée sur le parc de chaussées en France où les données du retour d'expérience, après traitement statistique, permettent aux gestionnaires une aide pour bâtir leur politique d'entretien en réalisant une optimisation de l'emploi de leur crédit sur une période assez longue (10 ans, à terme 15 ou 20 ans). Les objectifs pris en compte relèvent généralement des qualités d'usage (sécurité, confort) et de préservation des infrastructures (gestion du patrimoine). Par ailleurs, ces données permettent la mise en œuvre de cette politique, notamment par la définition des programmes annuels d'actions d'entretien (Programme GiRR « Gestion intelligente des Réseaux Routiers » du LCPC-SETRA).

On retrouve une valorisation similaire dans le domaine des réseaux enterrés. Ici, les données du retour d'expérience, après traitement statistique, sont utilisées pour l'aide à la prise de

décision et la définition des programmes de renouvellement des conduites (Vasconcelos *et al*, 2004).

### 3.4 Synthèse de la valorisation du retour d'expérience

Le tableau suivant résume les différentes valorisations du retour d'expérience selon les domaines examinés dans le thème 4 :

Valorisation →	Diagnostic	Sûreté	Gestion des opérations de maintenance (gestion patrimoniale)	
Domaine ↓			Analyse de risques, pour la maintenance exceptionnelle	Maintenance courante
Barrages	<b>X</b>		<b>X</b>	
Ouvrages SNCF	x	<b>X</b>	x	<b>X</b>
Réseaux enterrés		<b>X</b>		<b>X</b>
Chaussées	x			<b>X</b>
Produits du bâtiment		<b>X</b>	<b>X</b>	x
Ouvrages préfabriqués en béton		<b>X</b>	x	
Ouvrages en montagne : paravalanches, pareblocs...	x	<b>X</b>	x	

**X** : valorisation principale, x : autre valorisation possible

#### 4. Synthèse générale

Dans ce rapport, nous avons établi une synthèse relative au retour d'expérience en génie civil, en nous plaçant principalement dans le contexte de gestion d'ouvrages en service. Les trois étapes de l'utilisation du retour d'expérience ont été examinées :

- le recueil des données ;
- le traitement des données ;
- la valorisation du retour d'expérience.

En ce qui concerne le recueil des données du retour d'expérience, on a mis en évidence une classification selon la nature de l'information. On distingue :

- les données du retour d'expérience basées sur l'expérimentation (essais en laboratoire ou in situ, sur ouvrages réels ou modèles réduits, modélisation numériques et simulations). Elles sont obtenues dans les contextes d'ouvrages produits en série (produits préfabriqués) ou, a contrario, d'ouvrages à caractère unique soumis à des sollicitations extrêmes (ouvrages en montagne) ;
- les données du retour d'expérience basées sur l'auscultation (visuelle ou instrumentée). Elles sont obtenues par analyse systématique (cas des réseaux à grands linéaires tels que les chaussées et les réseaux enterrés) ou par analyse experte et consistent en des inspections visuelles réalisées par des agents spécialisés (cas par exemple des ouvrages d'art relevant du parc de la SNCF ou encore des barrages).

Le traitement des données du retour d'expérience peut s'opérer selon deux approches : les approches analytiques (incluant les traitements physique et fiabiliste) et les approches systémiques (incluant les traitements par les statistiques ou par l'expertise).

*L'approche physique* consiste à intégrer les données du retour d'expérience (données issues de l'expérimentation ou de l'auscultation instrumentée) dans des modèles physiques de comportement ou d'états-limites. Il s'agit de l'approche traditionnelle en génie civil, qui est mise en pratique dans le domaine des ouvrages de montagne (expérimentation puis traitement dans un modèle d'endommagement).

*L'approche fiabiliste* du retour d'expérience est un traitement particulier de l'approche physique. Elle nécessite des données abondantes, complètes et précises, et des modèles physiques des ouvrages relativement simples. Elle est illustrée par la pratique dans le domaine des structures préfabriquées en béton ou encore des ouvrages Offshore et du génie civil nucléaire. Dans cette rubrique, indiquons que le génie civil bénéficie de quelques 30 années de retour d'expérience appliquées à la justification des ouvrages d'art et des bâtiments par les méthodes semi-probabilistes.

*L'approche par les statistiques* est utilisée dans les secteurs où les données sont abondantes, mais où il est difficile d'obtenir un modèle physique de comportement du système. On recherche alors les corrélations entre les données du retour d'expérience et un certain nombre de facteurs explicatifs. Cette approche est adoptée dans les ouvrages à grands linéaires, tels les chaussées ou les réseaux enterrés.

*L'approche experte* est mise en œuvre dans des contextes d'ouvrages hétérogènes, mal connus présentant peu d'informations. Par référence aux données du retour d'expérience, l'expert est à même alors d'obtenir une aide pour réaliser ses missions. Le domaine des barrages et des ouvrages de la SNCF illustrent bien cette approche.

Enfin, *la fusion des données* est une approche d'homogénéisation des informations du retour d'expérience, qui permet de prendre en compte tous les types d'informations (expertise, industrielle, expérimentale...), d'évaluer leur qualité et de les fusionner. Elle

est mise en œuvre dans le domaine de la gestion de projets de génie civil et de l'analyse de cycle de vie de produits du bâtiment pour l'évaluation de leur durée de vie. Cette approche permet d'intégrer dans les processus de décision des données qualitatives, quantitatives entachées d'incertitudes, incomplètes et imprécises.

Nous avons classé la valorisation du retour d'expérience selon un axe temporel correspondant à la vie d'ouvrages de génie civil en trois domaines d'application : le diagnostic, l'évaluation de la sûreté et la prévision des évolutions. Un autre choix de classification aurait consisté à distinguer les approches performantielles et patrimoniales.

*En diagnostic*, les données du retour d'expérience vont permettre de déterminer l'origine des défaillances d'un système. Cette démarche est mise en œuvre dans le domaine des barrages et dans le cadre d'une approche experte.

*En évaluation de la sûreté*, les données du retour d'expérience visent à évaluer la fiabilité, le niveau de protection ou encore d'apprécier l'état d'un ouvrage. On rencontre différents domaines du génie civil où les données du retour d'expérience sont utilisées à ces fins. Ainsi, dans le secteur des produits préfabriqués en béton, les données du retour d'expérience permettent d'obtenir directement la fiabilité des structures, compte tenu de la complétude et de la précision des informations disponibles. Dans le domaine des ouvrages en montagne, on recherche à évaluer quantitativement, par approche physique, les endommagements suite aux chocs, et donc par cela même, la sécurité intrinsèque des ouvrages. Dans le cas des réseaux d'eau potable enterrés, les traitements statistiques des données permettent une prévision de l'état des canalisations.

Enfin *en prévision des évolutions*, on trouve deux domaines d'application : la gestion patrimoniale et l'analyse de risques. Là aussi, le traitement des informations (statistique ou expertise) est directement lié aux données disponibles : abondantes ou pas, complètes ou incomplètes, précises ou imprécises. Toutefois, on constate que les approches statistiques sont utilisées généralement dans la gestion patrimoniale des ouvrages, à l'instar des domaines des ouvrages de la SNCF, du parc de chaussées ou des réseaux enterrés. En revanche, les approches expertes sont plutôt réservées à l'analyse de risques, à l'instar des barrages.

Cette synthèse met en évidence une tendance générale à la formalisation des informations du retour d'expérience dans le but de capitaliser les données. Pour certains organismes tels la SNCF, le CSTB et le Cemagref, les pratiques constatées visent en outre à pérenniser le savoir et le savoir-faire des experts seniors, ceux qui ont conçu les ouvrages qu'il s'agit maintenant de gérer dans les meilleures conditions de sécurité et au meilleur coût.

## **Bibliographie**

- ALEGRE H., HIRNER W., BAPTISTA J.M., PARENA R. (2000). *Performance indicators for water supply services*. Manual of Best Practice Series, IWA Publishing, London, ISBN 1 900222 18 3.
- As ZEIDAN. (2002). Démarche d'estimation des délais de réalisation d'un tunnel en site urbain. Thèse de doctorat, Université de Marne-la-Vallée.
- BERTRAND L., LEPERT P. (1998). Méthode de relevés des dégradations de surface des chaussées. Méthode LCPC, 38.2.
- CERIB (2003). Optimisation des coefficients de sécurité pour les produits préfabriqués en béton. ISSN 0249-6224. IBSN 2-85755-131-2
- COURILLEAU E. (1997). *Analyse statistique de données routières appliquées au développement de modèle de gestion de l'entretien*, Thèse de Doctorat, Université Blaise Pascal – LCPC.
- CREMONA C. Dir. (2003). Application des notions de fiabilité à la gestion des ouvrages existants. Paris : Ed. Presse ENPC.
- DUBOIS D. ET PRADE H. (1996). *What are fuzzy rules and how to use them*. Fuzzy sets and systems, volume 84, issue 2, Sept. 1996.
- EISENBEIS PATRICK, POULTON M., LAFFRÉCHINE K. (2004). *Technical Indicators for Rehabilitation: failure forecast and hydraulic reliability tools*. Water Intelligence Online © IWA Publishing 2004 - ID: 200405006
- European Research (2002). *Precast concrete safety factors*, Contract SMT4 CT98 2276,. July 2002
- GOUX M.T., LEPERT P. (2000). *Aide à la gestion de l'entretien des réseaux routiers*, SETRA-LCPC.
- Norme ISO 4892 (1999). Plastiques – Méthodes d'exposition à des sources lumineuses de laboratoire.
- LAFFRECHINE K. (1999). Base de données urbaine pour la gestion des réseaux d'assainissement non visitables. Thèse de doctorat, Université Bordeaux I.
- LAIR J. (2000). Evaluation de la durabilité des systèmes constructifs du bâtiment. Thèse de doctorat, Université Blaise Pascal - CSTB.
- LE GAUFFRE P., LAFFRECHINE K., BAUR R., POINARD D., HAIDAR H., SCHIATTI M. (2004). *Aide multicritère aux décisions de réhabilitation d'un réseau d'eau potable*. XXII<sup>èmes</sup> Rencontres de l'AUGC, 3 & 4 juin 2004, Marne-la-Vallée, 8p.
- LE GAUFFRE P., GIBELLO C., JOANNIS C., BREYSSE D. (2001). *Gestion patrimoniale et réhabilitation des réseaux d'assainissement non visitables*. Action 2 de l'opération 5/6 du Projet National RERAU. XIX<sup>èmes</sup> rencontres universitaires de Génie Civil – COSS'2001, p 214-219.
- LEPERT P., SIFFERT M. (1998). *Catalogue de dégradations de surface de chaussées*, Méthode LCPC, 52.
- LEPERT P., MARTIN J.-M. (2001). *Mesure et interprétation du profil en travers*, Méthode LCPC, 49.
- MALANDAIN J. (1999). Modélisation de l'état de santé des réseaux de distribution d'eau pour l'organisation de la maintenance. Etude du patrimoine de l'agglomération de Lyon. Thèse de doctorat - INSA.
- MOUGIN J.P., PERROTIN P. et al. (2004). *Rock fall impact on reinforced concrete slab: an experimental approach*, International Journal of Impact Engineering, In Press, Corrected Proof, Available online 3 February 2004.
- PEYRAS L. (2003). Diagnostic et analyse de risques liés au vieillissement des barrages – Développement de méthodes d'aide à l'expertise. Thèse de doctorat, Université Blaise Pascal - Cemagref.
- POINARD D., LE GAUFFRE P., LAFFRECHINE K., HAIDAR H. (2004). Utilisation d'un modèle de Markov pour l'étude du vieillissement des réseaux d'eau – Application sur le patrimoine du Grand Lyon. XXII<sup>èmes</sup> Rencontres de l'AUGC, 3 & 4 juin 2004, Marne-la-Vallée.
- RECHE M. (2004). Effets des travaux d'entretien sur les lois d'évolution des dégradations de chaussées, Thèse de Doctorat, Université Blaise Pascal – LCPC.
- TALON A., BOISSIER D., CHEVALIER J.L., HANS J. (2004). *A methodological and graphical decision tool for evaluating building component failure*. CIB World Building Congress. Toronto, Ontario, Canada. 2-7 mai 2004.

VASCONCELOS E., BREYSSE D., DESMULLIEZ J-J. (2004). *Démonstrateur d'un outil d'aide à la gestion du patrimoine réseaux d'assainissement non visitable*. XXII<sup>èmes</sup> Rencontres de l'AUGC, 3 & 4 juin 2004, Marne-la-Vallée, 8p.

---

## ANNEXE 6

## Thème 5

## STRATEGIES DE PREVENTION DES RISQUES

## Complexité, organisation et décision

*Ce texte a été élaboré sous la responsabilité de*

- ☞ M. Breyse (CDGA, Univ. Bordeaux I)
- ☞ M. Melacca (SMABTP)
- ☞ M. Crémona (LCPC)

*Il résulte de l'analyse et de la synthèse de la littérature scientifique et technique disponible dans le domaine traité et de réflexions suscitées lors de réunions collectives, ou à l'occasion de colloque abordant le thème traité.*

### **Introduction**

Les défaillances et sinistres résultent de causes naturelles (liées aux sites, aux matériaux, aux ouvrages) et de causes humaines (mauvaises décisions, erreurs de conception, de mise en œuvre, défaut de coordination ou d'organisation,...).

La maîtrise des risques attachés aux ouvrages en phase de conception, de construction ou d'exploitation demande une analyse et une maîtrise de la complexité des systèmes : systèmes techniques (le composant de génie civil n'est le plus souvent qu'un élément d'un macro-système d'infrastructure plus large, au bon fonctionnement duquel il contribue) et systèmes organisationnels (les relations entre les multiples intervenants autour d'un ouvrage sont complexes et facteur de risque).

La complexité croît également du fait de la multiplication des exigences (accords internationaux, directives européennes, dispositifs légaux et réglementaires nationaux, normalisation, pour satisfaire des impératifs de protection environnementale ou des usagers,...) et de la complexification des statuts de la maîtrise d'ouvrage (intervention croissante des collectivités territoriales, Partenariat Public Privé).

Enfin, les conséquences des défaillances ne sont pas seulement techniques, mais aussi économiques, sociales, environnementales, judiciaires...

La dimension temporelle, (dans ses composantes raccourcissement/allongement), joue un rôle essentiel. Ainsi, la réduction des délais (dans les études, la mise en œuvre, la coordination, l'urgence des interventions); comme l'extension dans le temps des exigences de bon fonctionnement des ouvrages imposée par la nécessité économique de maintenir en service des ouvrages anciens et d'en prévenir les défaillances, peuvent être source de risque.

La maîtrise des risques s'inscrit donc dans une perspective globale, accompagnant la prise de conscience de la société (et du monde politique !) d'une exigence de développement durable

assurant la protection de l'environnement, des biens et des individus avec une allocation optimale des ressources naturelles et financières.

Elles obligent a contrario à définir clairement les risques acceptables par les maîtres d'ouvrages.

Enfin, le développement des nouvelles technologies (NTIC) et l'instantanéité de l'information qu'elles rendent possibles, modifient le rapport que chaque acteur entretient avec le risque et fournit des outils qui peuvent contribuer à une prévention plus efficaces des risques.

Au regard de ce qui précède, les intervenants à l'acte de construire (maîtrise d'ouvrage - maîtrise d'œuvre - entreprises – exploitants - usagers) sont de plus en plus « exposés » dans l'exercice de leurs contrats, et leur stratégie de prévention / gestion des risques s'avère d'autant plus complexe.

Nous souhaitons identifier et qualifier les pratiques, processus et règles qui favorisent les situations dégradées (au sens de la gestion de risques), c'est-à-dire telles que le risque «dérive» sans être maîtrisé; les réponses de ces différents acteurs et la façon dont le développement de nouveaux outils et modes d'organisation (NTIC, ingénierie concourante, bonnes pratiques) peuvent modifier les équilibres entre les acteurs et permettre une maîtrise plus efficace des risques.

Deux sous-thèmes ont été abordés, répondant à un même questionnement général, mais correspondant à des contextes différents du génie civil :

- Thème 5A : Stratégie de maintenance des ouvrages : évaluation de la fiabilité et requalification, reconnaissance et inspection
- Thème 5B : Du maître d'ouvrage à l'assureur : pour des réponses optimales face aux risques.

Le Thème 5A s'est s'attaché à mieux cerner les aspects probabilistes des pertes de performance (sécurité structurale et aptitude au service) des ouvrages et des réseaux (ce terme étant pris au sens d'ensemble de composants techniques élémentaires en interaction), l'approche réglementaire s'avérant insuffisante et des comme l'évaluation probabiliste des risques –EPR-, largement employées dans des champs disciplinaires voisins (installations chimiques et nucléaires) pouvant fournir des apports fructueux.

On analysera la question de l'évolution temporelle de la sécurité : procéder en continu à une évaluation de l'ouvrage et argumenter sur sa performance au regard d'informations actualisées constitue l'objet majeur de toute politique de maintenance. L'évaluation globale de la performance permet d'accéder à une quantification du risque (ou des coûts moyens d'intervention et/ou de perte de performance) et donc à son optimisation sous contraintes, ce qui autorise la détermination des interventions (inspections, réparations) optimales en terme d'allocations de ressources.

Une telle méthodologie pour la prise de décision, basée sur les probabilités de défaillance et les conséquences de la défaillance constitue une transformation radicale de la gestion actuelle des infrastructures, focalisée sur le maintien des éléments du réseau entre leur état d'origine et un certain état minimal acceptable.

Le Thème 5B a mené une analyse pluridisciplinaire des risques attachés aux acteurs et à leurs modes d'organisation dans quelques situations représentatives par leur complexité et leurs enjeux, impliquant des problèmes de risques relevant de la géotechnique, induits par les pratiques et les modes d'organisation au cours d'une opération de construction.

Il s'est agi en particulier d'identifier la façon dont chacun des acteurs se positionne par rapport aux risques (*perception, acceptation, responsabilité*), quels sont les degrés de liberté (*techniques, réglementaires, économiques...*) dont il dispose, et comment le risque global en résulte pour l'opération ou l'ouvrage.

Chacun des deux sous-thèmes 5A et 5B, peut être approché par le biais d'une même grille d'analyse :

	<i>Thème 5A</i>	<i>Thème 5B</i>
Analyse de la complexité	Du composant individuel à la défaillance du macro-système	De l'acteur individuel à la défaillance collective
Dimension temporelle	Collecte et modélisation des informations, construction de modèles prédictifs à long terme	Organisation temporelle des relations entre acteurs et conséquences
Allocation optimale des ressources	Optimisation des investissements (stratégies I.M.R.)	Partage optimal des risques acceptés entre les acteurs
Apport des NTIC	Requalification en temps réel et conséquences	Possibilités de modification des relations entre acteurs

## Thème 5

### STRATEGIES DE PREVENTION DES RISQUES

#### Complexité, organisation et décision

#### 5.A. Stratégies de maintenance des ouvrages. Principes et méthodes

### 1. INTRODUCTION

Les ouvrages de génie civil sont destinés à remplir des fonctions qui peuvent être altérées ou compromises par de nombreux aléas d'origine naturelle ou humaine. Les stratégies de gestion et de maintenance de ces ouvrages ne peuvent être pertinentes et efficaces d'un point de vue technique, économique et social que si elles tiennent compte des menaces qui affectent le plus ces fonctions. Les demandes actuelles et accrues de la société dans un développement durable assurant la protection de l'environnement, des biens et des individus avec une allocation optimale des ressources naturelles et financières concourent également à la définition de nouvelles politiques de gestion des ouvrages de génie civil.

Pour cela, il est souhaitable d'établir des modèles d'optimisation qui permettent d'identifier les meilleures stratégies et actions de maintenance pour atteindre ces objectifs. Divers modèles peuvent être construits, et différent suivant les patrimoines d'ouvrages, les enjeux de gestion et les moyens financiers mis à disposition. Mais, ils reposent toujours sur un équilibre entre enjeux techniques et conséquences économiques. C'est en construisant et en évaluant les relations entre coûts et bénéfices (appelées analyses coûts-bénéfices) associées à chaque alternative de gestion, que des stratégies « optimales » pourront être élaborées et mises en œuvre.

L'objet de cette note de synthèse est de tracer des pistes pour de futurs projets de recherche sur la thématique de la maintenance et de la gestion des ouvrages dans le contexte de la maîtrise de risques en génie civil.

### 2. ENJEUX POSES PAR LA MAINTENANCE DES OUVRAGES

La maintenance peut être définie comme la combinaison de toutes les actions administratives et techniques destinées à retenir un composant ou un système (ou à défaut de le restaurer) dans un état lui permettant de remplir ses fonctions. Les objectifs de maintenance peuvent être résumés sous deux thèmes [Cremona, 2004] :

- assurer les fonctions de l'ouvrage exprimées au travers de *critères d'aptitude au service et de sécurité structurale*,
- assurer la *pérennité de l'ouvrage*.

Un ouvrage assure donc par essence une ou plusieurs fonctions. Une modification de sa performance va donc entraîner des actions de maintenance pour y remédier. Ces actions jouent un rôle essentiel dans la maintenance de certaines structures de génie civil dès lors qu'il

s'agit d'une **perte de production** (par exemple, réseaux d'eau...). De façon similaire, pour d'autres, l'évolution de la performance conduit à une **perte d'accessibilité** (ponts, tunnels...). Ces pertes de production ou d'accessibilité se traduisent par des pertes financières, directes dans le premier cas, indirectes (temps d'attente, détour...) ou directes (pertes de droits d'entrée de péage) dans le second.

Lorsqu'une structure assure un **rôle de sécurité** (digue, barrage non destiné à la production, murs de soutènement...), la perte de performance revêt deux conséquences différentes : une perte matérielle et une perte immatérielle. La perte matérielle touche dans le cas d'inondations des surfaces plus ou moins importantes et concerne les biens immobiliers et mobiliers endommagés. La perte immatérielle est par définition difficilement quantifiable : il s'agit de pertes de vies humaines dont la valeur économique, *a priori* moralement inestimable, est également estimée par sa contribution au Produit National Brut, comme pour les pertes matérielles. Pour d'autres ouvrages (quais de canal, de ports,...), il est plus difficile de déterminer la valeur économique d'une perte de performance. Les conséquences sont alors plus diffuses et les pertes graduelles. Il est cependant nécessaire d'en fournir une estimation, car si aucune conséquence importante est aujourd'hui notée, l'absence de maintenance resterait anti-économique. Les détériorations encourues par la structure affectent sa résistance et peuvent entraîner la perte d'une fonction de celle-ci. Les ouvrages de génie civil n'échappent pas à cette règle, mais doivent assurer en permanence et en toute sécurité les services pour lesquels ils ont été construits. Il est donc nécessaire de surveiller systématiquement et attentivement leur état et leurs conditions d'utilisation et d'exécuter, en temps utile, les opérations de sauvegarde, d'entretien ou de réparation qui permettent de les maintenir en état de service.

## 2.1 STRATEGIES DE MAINTENANCE

Les décisions relatives à la gestion d'un ouvrage ou structure particulière sont :

- la stratégie de maintenance,
- la méthode de gestion,
- la durée d'application de la maintenance,
- l'âge d'application de la maintenance.

La stratégie de maintenance est souvent une décision politique. Les options de la maintenance incluent :

- (a) **ne rien faire** jusqu'à ce que la structure devienne non sûre ou inapte au service, ou qu'un renforcement ou des restrictions d'utilisation soient nécessaires ;
- (b) **mener des actions préventives** afin de réduire la vitesse de dégradation en évitant ou retardant des travaux de réparation, de renforcement ou des restrictions d'usage ;
- (c) **intervenir en fonction des résultats d'inspection** suivant des calendriers d'inspection prédéfinis ou optimisés. Suivant les résultats d'inspection, plusieurs choix possibles du laisser-aller au renforcement.

Le remplacement de la structure lorsque celle-ci ne remplit plus ses fonctions (perte de performance) est une alternative au renforcement et le choix entre ces deux stratégies repose essentiellement sur une décision d'ordre économique. La stratégie a) est appelée **maintenance corrective** tandis que la seconde b) est appelée **maintenance systématique**. La troisième est appelée **maintenance conditionnelle**.

## 2.2. TYPES DE MAINTENANCE

Une maintenance corrective implique qu'une action n'est engagée qu'à partir du moment où une perte de performance est constatée. On parlera ainsi de maintenance *palliative* au côté provisoire ou *curative* au caractère permanent. En pratique, cette maintenance est intéressante si les conséquences de la perte de performance ne sont pas graves et si éviter préventivement la perte de performance est onéreux. Ainsi, si cette perte intervient, le composant sera réparé ou remplacé. Ce type de maintenance va induire en général des coûts très faibles pendant les premières années, puis des coûts élevés. Elle risque également d'induire des coûts indirects de perturbation de l'infrastructure, ainsi qu'une accumulation de travaux de maintenance.

Une maintenance préventive implique de réduire la probabilité de défaillance ou de dégradation de l'ouvrage. On distingue alors la maintenance *systématique* et la maintenance *conditionnelle*. Dans le cadre d'une maintenance systématique, les actions de maintenance sont régulièrement effectuées quel que soit l'état de l'élément. Ce type de maintenance peut conduire à des coûts élevés, mais réduit le risque de perturbation dans le service de l'infrastructure. C'est par exemple le cas du nettoyage de petites parties visibles sur les ouvrages ou le changement de pièces mécaniques d'usure dans des machines. Dans le contexte d'une maintenance conditionnelle, les interventions (nombre et type) sont fonction de l'état de l'élément et des résultats d'inspection. Des réparations peuvent ainsi être décidées suivant ces résultats. Les instants d'inspections peuvent être prédéterminés, les intervalles de temps entre chacun de ces instants pouvant être identiques ou différents.

Une maintenance préventive sera intéressante si les coûts induits par la perte de performance sont élevés et si les coûts de réparation et d'inspection sont relativement faibles par rapport aux premiers.

## 2.3. DE L'OUVRAGE AU PATRIMOINE

Depuis maintenant une vingtaine d'années, de très nombreux développements dans le domaine de l'optimisation de la maintenance de structures complexes ont été menés. Ne pas citer le cas de l'offshore serait commettre un oubli majeur, en raison des nombreux modèles et approches proposés dans l'étude de plateformes pétrolières de type jacket métallique ([Onoufriou, 1999] offre un très bon panorama de ces études). Nous reviendrons sur ce point un peu plus loin, mais il est important de comprendre à ce stade que les méthodes et outils développés pour l'optimisation de la maintenance de structures offshore le furent pour des ouvrages individuels et essentiellement motivés par leur importance économique en terme de pertes humaines, économiques et environnementales. Dans le cadre d'ouvrages de génie, en dehors d'ouvrages exceptionnels, il faut faire face à une multitude d'ouvrages divers, gérés par des autorités de structures administratives ou privées différentes, ce qui conduit à ne plus nécessairement (sauf dans le cas d'ouvrages particuliers exceptionnels ou fortement dégradés) procéder à une analyse ouvrage par ouvrage, mais à aborder d'un point de vue plus global le patrimoine. Les priorités en termes de maintenance et d'action au niveau d'un réseau se déclinent alors de manière différente de celles rencontrées en offshore. Les développements récents dans le domaine des ponts routiers l'illustrent nettement [Brime, 2001], [Thompson & al, 1998], [Hawk & Small, 1998].

La gestion d'un parc d'ouvrages constitue un enjeu important pour l'économie d'un pays. Elle a pour objectifs principaux de [Godart, 1999] :

- garantir la sécurité des usagers et des tiers ;
- assurer les fonctions demandées (modulable en fonctions des ouvrages) ;
- assurer la conservation du patrimoine à long terme.

Un système de gestion d'ouvrages de génie civil se compose d'un ensemble de procédures destinées à assurer la maintenance de ces ouvrages. Il inclut les méthodes, les modèles analytiques, les outils informatiques, les processus organisationnels, les bases de données nécessaires à sa mise en œuvre. Il agit généralement au niveau de l'ouvrage individuel où la gestion a un caractère essentiellement technique, et au niveau du parc où la gestion a un caractère économique et politique. De fortes interactions existent évidemment entre ces deux niveaux de gestion.

La gestion d'un parc d'ouvrages s'inscrit donc dans un contexte dont les éléments les plus importants sont :

- un parc d'ouvrages est en général une collection d'objets uniques et distincts les uns des autres, même s'il est possible de discerner quelques familles d'ouvrages (barrages, ponts, pylônes...) ; cette diversité pose des problèmes de gestion liés à la difficulté de déduire des lois globales à partir de l'observation de cas particuliers, et l'hétérogénéité explique en partie la difficulté de formuler des lois générales d'évolution des ouvrages en fonction du temps.
- la gestion s'inscrit forcément dans la durée ; même s'il n'existe pas réglementairement de durée de référence prescrite, l'habitude veut que l'on construise pour une durée d'utilisation de plusieurs dizaines d'années (100 ans pour les ponts par exemple), et la majorité des parcs d'ouvrages inclut des ouvrages qui parfois ont largement dépassé cet horizon (comme pour les ponts). La gestion d'ouvrages concerne donc plusieurs générations humaines, et ce fait pose indéniablement le problème de la continuité des approches socio-économiques avec le temps...
- une stratégie de gestion d'un parc ne peut être conçue indépendamment de la typologie du parc : on ne gère pas de la même manière un grand parc d'ouvrages hétéroclites comportant quelques ouvrages sensibles ou exceptionnels, et un petit parc d'ouvrages homogènes. Il arrive même qu'un ouvrage exceptionnel fasse l'objet d'une gestion individualisée et soit géré indépendamment du reste du parc (grand barrage, grand pont...).
- l'organisation administrative, et notamment de la distribution et de la qualification des personnels en place, est essentielle pour la gestion ; ceci est particulièrement vrai au niveau de la politique de surveillance et d'évaluation de l'état des ouvrages.
- Enfin, certains ouvrages sont classés Monuments Historiques ou présentent une forte valeur patrimoniale, et leur gestion nécessite alors une approche différente des autres ouvrages du parc...

Faire abstraction de ces éléments fondamentaux conduirait à mettre en place des procédures de gestion inadaptées.

Dans la plupart des pays développés [Godart, 1999], les budgets alloués pour certaines catégories d'ouvrages (comme les ponts) permettent d'assurer une maintenance curative, c'est-à-dire de garantir un entretien courant minimal et de traiter en priorité les ouvrages présentant des désordres importants. Mais dans certains pays en voie de développement, la faiblesse des moyens financiers dégagés conduit à appliquer une politique de « traitement des urgences »... Il apparaît qu'un effort budgétaire supplémentaire reste nécessaire si l'on veut pouvoir appliquer une maintenance préventive qui serait source d'économie à long terme. Une telle maintenance doit être conçue pour éviter des dépenses futures liées à des réparations lourdes consécutives à un défaut d'entretien.

Nous avons souligné que l'objectif premier de la gestion d'un parc d'ouvrages était de garantir la sécurité des usagers et des tiers sur l'ensemble de ce parc. Certains ouvrages présentent de

telles réserves de sécurité qu'ils peuvent supporter des désordres importants sans que la sécurité des usagers puisse être mise en doute, et qu'une évaluation visuelle de leur état puisse servir de base pour leur gestion. Par contre, d'autres ouvrages nécessitent une approche plus formelle de leur sécurité, soit parce que des désordres internes ne peuvent être décelés par une inspection ou une simple auscultation, soit parce que des désordres mineurs localisés dans une partie critique de la structure peuvent la mettre en danger.

La notion de *coût du cycle de vie* apparaît comme fondamentale en matière de gestion. Le coût de la maintenance doit en effet prendre en compte non seulement les coûts initiaux, mais aussi les coûts futurs qui sont fonction de la stratégie de maintenance adoptée. Ainsi, si l'on effectue aujourd'hui une réparation provisoire à la place d'une réparation définitive, il sera nécessaire de procéder à des travaux conséquents plus tard. Pour pouvoir appliquer cette notion de cycle de vie, les coûts et les bénéfices obtenus au cours du temps doivent pouvoir être évalués. La prise en compte du temps se fait par l'intermédiaire du taux d'actualisation qui mesure la préférence qu'a la collectivité pour le présent plutôt que pour le futur. La politique la plus rentable est celle qui maximise la différence entre les bénéfices et les coûts actualisés (les coûts intégrant les dépenses de maintenance effectuées par le gestionnaire et les coûts sociaux supportés par la collectivité).

### 3. RISQUE ET ANALYSE DES RISQUES

Le risque peut se définir de plusieurs manières [Aven, 1992], [Vatn, 1998]. L'une des approches les plus répandues est de définir le risque par une série de conséquences (sociales, environnementales, économiques) associée à des probabilités d'occurrence de menaces ou de dangers. C'est une définition assez classique du risque que l'on retrouve dans de nombreuses références bibliographiques, règlements, normes ou recommandations. Si  $C = (C_1, C_2, \dots)$  est le vecteur décrivant les conséquences associées à un aléa, où  $C_i$  sont des quantités incertaines exprimant par exemple le nombre de morts, le nombre d'accidents, les pertes économiques..., le risque sera alors décrit au moyen de ces conséquences  $C_i$  et des fonctions de densité  $f_{C_i}(\cdot)$ .

Un indicateur intéressant est celui de la perte espérée :

$$E[C_i] = \int_{D_{C_i}} c f_{C_i}(c) dc \quad (1)$$

où  $D_{C_i}$  est le domaine de définition de la variable  $C_i$ . L'analyse de risque est un ensemble de démarche ayant pour objectifs de quantifier les risques et donc les pertes espérées. Un tel processus repose sur :

- l'identification des événements indésirables (menaces)  $A = (A_1, A_2, \dots)$ ,
- l'analyse des causes menant à chaque  $A_i$  et de leur vraisemblance (l'analyse des arbres de défaillance constitue un outil souvent utilisé),
- l'analyse des conséquences de chaque  $A_i$
- la quantification des risques.

L'analyse de risque établit une base pour la prise de décision en termes de mesures ou de moyens, incluant les stratégies et les actions de maintenance. Ces processus sont particulièrement bien adaptés pour identifier les phénomènes qui influencent de manière notable le risque, et pour analyser les mesures de réduction du risque.

#### 4. MODELES D'OPTIMISATION DE LA MAINTENANCE

Un modèle d'optimisation de la maintenance doit constituer le socle de toute décision et doit intégrer la prédiction de la performance future des ouvrages sous diverses alternatives de maintenance. De telles prédictions sont bien évidemment incertaines au sens de la théorie de la décision car elles introduisent des phénomènes fortement aléatoires par essence. La *théorie des probabilités* est alors un outil mathématique des plus appropriés pour appréhender cet environnement incertain. Il ne faudrait pas cependant croire qu'elle constitue la panacée ; que dire des situations (notamment la construction d'infrastructures nouvelles) qui ne permettent pas de déterminer avec une précision suffisante la distribution de probabilité des événements possibles. C'est d'ailleurs dans ces mêmes cas que vient se rajouter aujourd'hui le *concept de précaution* en tant que principe de comportement et de gestion face à un environnement incertain. Comment appliquer une analyse coût-bénéfice dans de telles conditions d'ambiguïté ? D'autres modèles, basés sur les *concepts d'espérance d'utilité*, offrent une interprétation étendue de ce principe de précaution en termes de maximisation du bien-être de la population.

De telles approches de l'optimisation de la maintenance des ouvrages apparaissent par construction comme des démarches basées sur le risque. En effet, elles nécessitent d'une part d'évaluer la performance des ouvrages face à diverses menaces (actions extérieures, dégradations, erreurs...), et d'autre part, de quantifier les pertes de cette performance induites par l'occurrence de ces aléas, et les coûts de chaque stratégie de gestion. Cette double quantification « performance/conséquences » constitue une interprétation technico-économique du risque dans le cadre de la gestion des ouvrages. Faire ce rapprochement entre analyse coût-bénéfice et analyse de risque n'est cependant pas immédiat. De nombreux challenges liés à la définition et l'implémentation d'une approche basée sur le risque existent. L'un des plus importants est celui dont le risque est exprimé et interprété : risque objectif ou risque à venir (d'où l'introduction du principe de précaution)... Le second challenge est lié à l'attitude de la société et des preneurs de décision face au risque : aversion au risque, risque subjectif...

Ces approches de la maintenance basées sur le risque ne sont pas récentes et il est possible d'en trouver de nombreux exemples dans l'industrie (voir la référence [Aven, 1992]). De très nombreuses tentatives existent également dans le génie civil ; elles portent des noms très différents (*life-cycle cost analysis* – LCCA, *risk-based inspection* – RBI, *inspection/maintenance/repair* – IMR), mais sont toutes voisines car reposant sur l'optimisation d'une analyse coût-bénéfice. On y cherche à analyser les effets de plusieurs stratégies de maintenance pour chaque élément ou partie de structure considéré.

#### 5. PROCEDURES D'OPTIMISATION

##### 5.1. COUT ESPERE/UTILITE ESPEREE

La plupart des approches d'optimisation de la maintenance introduisent des valeurs espérées exprimées en bénéfices ou pertes moyennes. On sait à la suite des travaux de Bernoulli que les notions de coût (gain ou perte) espéré présentent de nombreux désavantages théoriques (paradoxe de Saint-Pétersbourg). A la maximisation de l'espérance mathématique, Bernoulli substitue la maximisation de l'espérance morale en introduisant le concept d'utilité, l'un des fondements de la théorie de la décision formalisée par Von Neumann et Morgenstern dans les années 50. La valeur d'un objet n'est pas analysée au travers de ses bénéfices, mais de l'utilité qu'il procure. Dans ce cas, ce n'est pas la perte espérée qu'il convient de calculer, mais la perte d'utilité espérée :

$$E[U(C_i)] = \int_{D_{C_i}} U(c) f_{C_i}(c) dc \quad (2)$$

où  $U(\cdot)$  est appelée fonction d'utilité. Une fonction d'utilité constitue un pré-ordre complet, autrement dit pour tout choix, l'agent prenant une décision a une opinion. De façon assez surprenante, ces concepts d'utilité ont été peu considérés dans les procédures d'optimisation de la maintenance des structures de génie civil. Ils sont par contre utilisés dans la maintenance industrielle [Vatn, 1997]. Ainsi les approches précédemment citées de LCCA, de RBI et d'IMR reposent uniquement sur des calculs de gains ou pertes espérées.

L'optimisation de l'utilité espérée est devenue le paradigme des économistes et des analystes ; il est aujourd'hui possible de le retrouver dans le principe de précaution. En pratique, il ne s'agit que d'un outil normatif de prise de décisions dans un cadre mathématique. De nombreux facteurs que doit traiter la gestion des ouvrages et des infrastructures dépassent ce cadre mathématique. En particulier, la théorie de l'utilité espérée ne rend pas compte de la manière dont la société prend des décisions : elle ne procure que des recommandations sur la manière dont on doit prendre ces décisions. C'est en ce sens qu'il s'agit d'une théorie normative et non descriptive ; cela ne la remet pas en cause dans la mesure où une théorie descriptive est de peu d'utilité en présence de nouveaux problèmes présentant des niveaux de complexité plus ou moins élevés. C'est encore la raison qui justifie l'utilisation de la théorie de l'utilité espérée en contexte incertain dans le principe de précaution. L'une des difficultés du concept d'utilité est la définition et la construction de la fonction  $U$  ; divers modèles existent et on pourra se référer à la référence [Ang & Tang, 1984] pour de plus amples détails. L'approche coût/bénéfice constitue une démarche d'optimisation alternative. L'idée est ici d'assigner des valeurs monétaires à une liste de menaces et de dangers, et de résumer la qualité d'une alternative par une valeur nette actualisée espérée. Cette démarche que l'on retrouve dans toutes les analyses LCCA a été sujette à de nombreuses critiques sur les plans philosophiques et formels [Adams, 1995], [Shrader-Frechette, 1992], [Bedford & Cooke, 2001], [Firschhoff & al, 1981]. L'un des majeurs problèmes rencontrés est la transformation des conséquences non économiques (comme les pertes en vies humaines, les dommages à l'environnement) en valeurs monétaires. Quelle est la valeur (statistique) d'une vie ? Quelle est la valeur d'un bien pour des générations futures ? Ces questions sont loin d'être triviales et toutes les méthodes de quantification de la valeur d'un risque peuvent être critiquées sur de nombreux aspects. Les analyses coût-bénéfice reposent sur des hypothèses simplificatrices qui tendent à privilégier certaines conséquences ou menaces, et en négliger d'autres.

S'il apparaît primordial de comparer différentes stratégies de maintenance sur la base des coûts de cycle de vie, il convient cependant de noter que cette approche a des limites. Pour pouvoir opérer cette comparaison, les coûts doivent donc être actualisés et le choix du coefficient d'actualisation à l'échelle du siècle constitue une réelle difficulté que l'on peut tenter de résoudre par un calcul en fourchette faisant intervenir plusieurs hypothèses sur la valeur de ce coefficient. Ceci dit, à l'échelle de quelques dizaines d'années, les coûts futurs deviennent assez rapidement négligeables par rapport aux coûts actuels, et la tentation est alors grande en terme économique de différer les interventions lourdes. Mais, l'accumulation d'interventions différées peut entraîner à la longue une réhabilitation complète particulièrement onéreuse. Il est par conséquent indispensable de conserver une vision et une stratégie de maintenance sur le long terme en parallèle. Enfin, si l'utilisation de la notion de coût du cycle de vie peut s'avérer utile au niveau d'un ouvrage isolé, rien ne prouve que la somme des coûts de cycle de vie de chacun des ouvrages corresponde à un coût optimisé au niveau du parc ; c'est ainsi que l'application sans discernement de cette méthode peut conduire à une réparation simultanée d'un grand nombre d'ouvrages qui ne pourra être

entreprise à la fois pour des raisons de fonctionnement de l'ensemble du réseau, pour des raisons de capacité de mise en œuvre et de suivi des travaux par le service gestionnaire, et pour de simples motifs budgétaires... La notion du coût de cycle de vie doit intégrer les coûts sociaux. A un niveau macro-économique, ces coûts sociaux peuvent être définis comme la perte de productivité d'une région par suite du mauvais fonctionnement de son réseau routier. A un niveau plus pragmatique, ils représentent les coûts de la gêne à l'utilisateur ou d'exploitation.

Que ce soit une approche par fonction d'utilité ou coût/bénéfice, le formalisme probabiliste est introduit. Or ce cadre est rarement clarifié et il est opportun de se poser des questions de validité des résultats des méthodes face à des données en petit nombre ou non objectives. La définition d'autres cadres d'étude non intégralement probabilistes (approches profust, postbist et posfust) combinant au mieux probabilités, possibilités et logiques floue ou aristotélicienne sont aujourd'hui des alternatives théoriques pertinentes et d'avenir.

## 5.2. ETABLISSEMENT DE PRIORITES

L'établissement des priorités est certainement une des phases les plus difficiles de la gestion. Les systèmes les plus simples sont généralement fondés sur le croisement d'un indice d'état et d'un indice stratégique qui permet au minimum d'obtenir un ordre de priorité d'intervention par paquets d'ouvrages. Cette approche permet de détecter les ouvrages ou paquets d'ouvrages sur lesquels il convient d'intervenir en priorité et répond bien à ce que l'on pourrait qualifier de « politique de gestion de l'urgence ». Dans les pays où une maintenance a déjà été appliquée et où l'état du parc est dans un état globalement satisfaisant, il devient alors possible d'établir des priorités sur la base d'une optimisation des moyens reposant sur une véritable approche socio-économique.

Comme nous l'avons noté plus haut, il est impossible de bâtir des stratégies de maintenance si nous ne sommes pas capables de prévoir l'évolution des ouvrages dans l'avenir en fonction de telle ou telle politique de maintenance. Or, le manque de connaissances rend très difficile l'établissement de pronostic sur le comportement futur d'un ouvrage et sur sa durée de vie résiduelle. La façon la plus simple pour effectuer une prévision est de la fonder sur une extrapolation de courbes d'évolution du suivi des ouvrages existants (approche de type globale). Néanmoins, pour certaines dégradations de matériaux (comme la corrosion), il paraît possible de bâtir des modèles de vieillissement sur la base d'une approche scientifique des lois de dégradation des matériaux ; mais, dans ce cas, la difficulté essentielle réside dans le passage des lois de dégradation du matériau aux lois d'évolution des désordres de la structure.

## **6. PLACE DE L'INSPECTION**

Les inspections forment une part importante du processus de gestion de l'intégrité des ouvrages comme moyen de surveillance de leur performance (durabilité, aptitude au service, sécurité structurale). Cependant, les inspections, suivant leur niveau de sophistication, peuvent représenter un coût non négligeable pour un gestionnaire ou un maître d'ouvrage. Traditionnellement, la pratique de l'inspection repose sur des recommandations et une bonne part de jugement d'expert sans prendre en compte de manière optimale les données de performance passées. Ceci peut conduire à une quantité substantielle d'inspections inefficaces, soit par oubli d'inspecter des parties critiques importantes, soit en mettant en œuvre des techniques d'inspection inadéquates. Les approches en fiabilité ont été développées pour fournir aux maîtres d'ouvrages des outils plus rationnels pour déterminer des calendriers d'inspection afin de maximiser leur efficacité et contrôler les niveaux de sécurité. La caractéristique principale de ces techniques est que les incertitudes inhérentes à l'inspection sont également introduites. L'utilisation des statistiques bayésiennes permet de plus

d'incorporer les résultats d'inspection dans les modèles de plannings et de décision afin d'optimiser les actions subséquentes.

Dans le domaine de l'offshore, de nombreux outils et méthodologies ont pu être introduites pour l'analyse en fiabilité et l'inspection [Madsen & Sorensen, 1990], [Onoufriou & al, 1994], [Goyet & al, 1994]. Des procédures d'optimisation des calendriers d'inspection et d'intervention furent proposées, motivées par le besoin de rationaliser les dépenses de maintenance et d'atteindre des niveaux de sécurité améliorés à moindre coût. Cette démarche a été largement prolongée sur les structures flottantes [Jensen & Pedersen, 1992], [Jensen & al, 1994], [Moan & al, 1997]. Dans le cas des structures offshore, les méthodes et outils développés pour l'optimisation de la maintenance le furent pour des ouvrages individuels et essentiellement motivés par leur importance économique en terme de pertes humaines, économiques et environnementales. A l'opposé, les développements récents dans le domaine des ponts routiers illustrent nettement le besoin de méthodologies et d'outils nécessitant l'optimisation de la gestion d'un patrimoine et non d'ouvrages pris individuellement [Brime, 2001], [Thompson & al, 1998], [Hawk & Small, 1998].

Divers niveaux d'inspection sont utilisés pour « surveiller » la performance des ouvrages en génie civil. Ils incluent les inspections visuelles et les inspections détaillées qui peuvent recourir soit à des essais destructifs (carottage), soit à des essais non destructifs. C'est évidemment la deuxième famille d'essais qui est le plus souvent recherchée. Ces deux niveaux sont essentiels pour maintenir le niveau de fiabilité de structures dégradées. Tandis que les inspections détaillées fournissent des informations plus précises et de meilleure qualité, elles sont souvent associées à des coûts plus élevés que les inspections visuelles [Frangopol & al, 1997]. Il est de ce fait nécessaire d'être sélectif dans l'application du type d'inspection détaillée afin de s'assurer que les ressources financières en maintenant soient utilisées d'une manière optimale. C'est sur ce point que les méthodes d'optimisation de la maintenance ont été en premier appliquées. Les inspections visuelles doivent continuer à être utilisées car elles jouent un rôle important dans le processus de gestion de l'intégrité. Ainsi, certains problèmes rencontrés ne peuvent être associés à des modèles de dégradations suffisamment précis (dans les cas où ils existent) pour être intégrés dans une procédure d'optimisation. Les erreurs d'exécution sont également des problèmes à suivre que seule l'inspection visuelle permet d'aborder.

Un élément essentiel est souvent oublié ; il s'agit de la qualité des inspections. Cette qualité se quantifie par un couple (probabilité de détection/probabilité de fausse alarme). Le premier composant indique la capacité d'une technique d'inspection à détecter un défaut d'un certain type ; le second composant indique le risque statistique d'induire en erreur en prenant des actions de maintenance inappropriée. Ce couple joue un rôle clé dans l'inspection et est la plupart du temps omis dans la gestion des ouvrages de génie civil [Cremona, 2003]. Dans le cadre de la gestion des ouvrages, ils sont pourtant essentiels car ils conditionnent la confiance à apporter aux inspections pour la prise de décision.

## 7. METHODOLOGIES

Les ouvrages de génie civil peuvent être confrontés à de multiples aléas  $A_i$  qui affectent alors leurs fonctions. Une approche générale d'optimisation des actions de maintenance doit donc débiter par un recensement de ces aléas : surcharges d'exploitation, séismes, crues, glissements de terrain... Cette identification repose sur des jugements d'expert et des inspections visuelles corrélées avec l'information disponible. L'étude des arbres de défaillance est un outil très souvent utilisé pour déterminer les événements à éviter. Ces aléas se traduisent généralement par l'expression de *modes de défaillance* exprimés par des *fonctions de performance* et des *critères de performance* (états limites). La caractérisation

probabiliste des incertitudes et des variabilités permet alors d'étudier le dépassement de ces critères en fournissant des *probabilités de défaillance* qui caractérise la *perte de performance*. La définition monétaire des conséquences  $C(C_i)$  ou des valeurs d'utilité  $U(C_i)$  suivant l'approche adoptée permet de calculer le coût ou l'utilité espérée de la perte de performance selon les équations (1) ou (2). Pour une stratégie de maintenance donnée, ces valeurs moyennes peuvent être considérées comme des valeurs quantifiées du risque que l'on cherchera alors à minimiser par rapport à des paramètres (temps d'inspection, niveau d'intervention...), éventuellement sous contraintes.

Pour l'approche coût-bénéfice, la comparaison des optima des stratégies de maintenance peut être effectuée de plusieurs manières possibles en ramenant les coûts sur la période d'application de la maintenance sur une même base de comparaison. Ceci s'effectue au travers de taux d'actualisation qui jouent un rôle essentiel dans ce processus de comparaison. Cette problématique se retrouve dans le cas de l'utilité, mais reste plus difficile à maîtriser (comment relier la valeur d'utilité de demain pour un aléa donné avec celle d'aujourd'hui ?).

## CONCLUSIONS - PROPOSITION D'ACTION DE RECHERCHE

Lors des deux dernières décennies, le vieillissement du parc d'infrastructures associé au maintien au mieux ou à la réduction au pire des budgets de maintenance dans les pays développés ont conduit au développement d'outils d'aide à la gestion que l'on appelle Systèmes de Gestion d'Ouvrages (SGO). Les versions les plus évoluées de ces systèmes (proposent une allocation optimale des ressources budgétaires dans le but d'assurer une performance adéquate à l'ouvrage et une stratégie de gestion optimale. En France, les systèmes de gestion disponibles ne permettent pas de déterminer de telles stratégies de gestion optimales. Or, ce besoin sera d'autant plus prégnant dans les années à venir en raison du vieillissement du patrimoine et des nouvelles répartitions de compétence entre l'Etat et les Collectivités.

L'approche actuelle de gestion des ouvrages incorporés dans ces SGO est une approche individuelle focalisée sur le maintien des ouvrages existants entre leur état d'origine et un certain état minimal acceptable caractérisé par une note. Il est supposé qu'un niveau adéquat de service soit fourni, aussi longtemps que l'état de l'ouvrage est équivalent ou supérieur à l'état minimal acceptable. L'état de l'ouvrage est déterminé en se basant sur des inspections visuelles. Dans les SGO les plus complexes, les stratégies de gestion optimale sont déterminées sur la base d'états actuels et futurs au moyen de prédictions comme les chaînes de Markov. Dans les systèmes disponibles en France, aucun modèle de prédiction n'est réellement implanté. De plus les SGO reposent essentiellement une globalisation des états de service individuels des ouvrages. Or, dans ce contexte, des stratégies de gestion optimale d'un réseau ne peuvent pas être trouvées si un niveau de service adéquat individuel n'est pas fourni, si des ouvrages sont affectés simultanément ou si l'état du pont ne peut pas être déterminé par inspection visuelle. Une approche basée sur la notion de réseau doit éviter ces limitations en prenant en considération la capacité du réseau comme un ensemble (système) qui fournit un niveau de service adéquat, le rôle et la performance du parc d'ouvrages, et les conséquences si un niveau de service adéquat au niveau réseau n'est pas fourni.

L'approche globale en réseau doit donc permettre de considérer que tous les aléas qui peuvent affecter le réseau (incluant la performance intrinsèque des ouvrages et les aléas naturels) et les besoins associés en intervention qui peuvent être traités même en absence de résultats d'inspection. De plus, une telle démarche doit faciliter la mesure de la connectivité et de la fonctionnalité du réseau en cas de dysfonctionnements. Enfin, cette approche en système doit également autoriser le traitement simultané d'ouvrages déficients.

L'objectif de la thèse est de développer un concept de gestion d'un réseau d'ouvrages permettant de procurer un niveau de service acceptable, et d'évaluer les conséquences en cas de dysfonctionnement. Il s'agit donc de faire reposer la démarche d'analyse sur des principes d'offre et de demande. L'offre se caractérise par le niveau de service adéquat qui se mesure en fiabilité des éléments (ponts), de la connectivité du réseau, et de sa fonctionnalité. La demande s'évalue par des coûts directs ou indirects, ou des fonctions d'utilité.

La performance des ouvrages dans un réseau sera évaluée par la détermination de leur faculté à se comporter adéquatement pendant la période d'investigation en tenant compte des aléas auxquels ils sont soumis (dégradations, aléas naturels). Elle est déterminée par des méthodes probabilistes. Les conséquences si un niveau de service adéquat n'est pas procuré, sont évaluées en supposant que le réseau a différents états et en estimant les coûts pour l'utilisateur dans ces différents états. En appliquant une approche coût-bénéfice, les stratégies optimales d'intervention sont déterminées de telle sorte qu'elles minimisent le dysfonctionnement d'aptitude au service du réseau et les coûts actualisés induits d'intervention sur une période de maintenance prédéfinie. Diverses méthodes économiques peuvent être envisagées.

## Références

- Adams J., 1995, Risk, UCL Press
- Ang A.H.S., Tang W.H., 1984, Probability concepts in engineering planning and design, Wiley
- Aven T., 1992, Reliability and risk analysis, Elsevier.
- Bedford T., Cooke R., 2001, Probabilistic risk analysis, Cambridge University Press
- Brime, 2001, Bridge Management in Europe, final report
- Cremona C., 2003, Application de la fiabilité dans les contrôles non destructifs, Journées IREX, Paris, Nov 2003
- Cremona C., 2004, Aptitude au service des ouvrages, Presses du LCPC
- Frangopol D ; & al, 1997, Life-cycle cost design of deteriorating structures, Structural Engineering, 123(10) :1390-1401
- Frischhoff B. & al, 1981, Acceptable risk, Cambridge University Press
- Godart B., 1999, La gestion des ouvrages d'art dans les pays développés, Annales des Ponts et Chaussées, 90, 12-18, 1999.
- Goyet & al, 1994, Optimal inspection and repair planning: case studies using IMREL software, Offshore mechanics and arctic engineering 94, 325:333.
- Hawk H., Small E.P., 1998, the BRIDGIT bridge management system, Structural engineering international, 8(4):309-314
- Jensen J.J., Pedersen P.T., 1992, A bayesian inspection procedure applied to offshore steel platforms, 6<sup>th</sup> International conference on behaviour of offshore structures, London.
- Jensen J.J. & al, 1994, Reliability-based inspection planning of a jack-up rig, 7<sup>th</sup> International conference on behaviour of offshore structures, Boston.
- Madsen H.O., Sorensen J.D., 1990, Probability-based optimisation of fatigue design, inspection and maintenance, Conference on integrity of offshore structures, Glasgow.
- Moan T. & al, 1997, In-service observations of cracks in north-sea jackets: a study on initial crack depth and PoD values, 16<sup>th</sup> International conference on offshore mechanics and arctic engineering, Yokohama.
- Onoufriou T., 1999, Reliability based inspection planning for offshore structures, Marine Structures, 12(7/8) :521-539
- Onoufriou T. & al, 1994, Reliability-based optimised inspection planning, 7<sup>th</sup> International conference on behaviour of offshore structures, Boston.
- Shrader-Frechette K., 1992, Risk and rationality, Oxford University Press
- Thompson P.D. & al, the PONTIS bridge management system, Structural engineering international, 8(4):303-308

- Vatn J., 1997, Maintenance optimisation from a decision theoretical point of view, *Reliability Engineering & System Safety*, 58 :119-126.
- Vatn J., 1998, A discussion of the acceptable risk problem, *Reliability Engineering & System Safety*, 61 :11-19.

## Thème 5

### STRATEGIES DE PREVENTION DES RISQUES

#### Complexité, organisation et décision

#### 5.B. Du maître d'ouvrage à l'assureur : pour une meilleure maîtrise des risques liés à la géotechnique

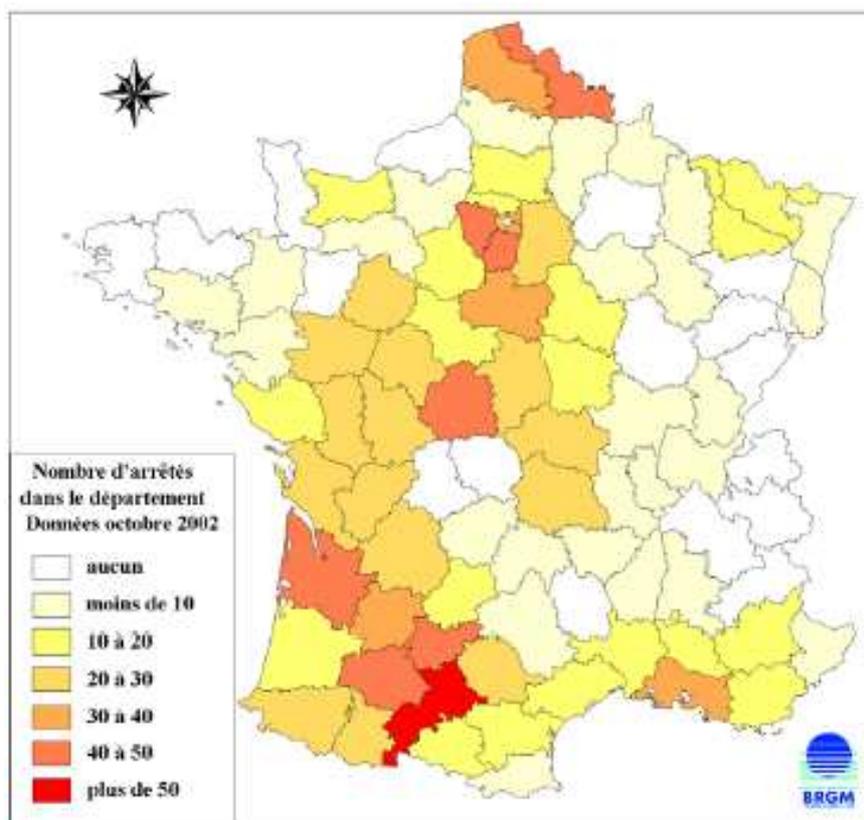
##### 1. Sinistralité et conséquences

En maison individuelle, plus de 80 % des sinistres en matière de fondations résultent d'une méconnaissance du terrain, pour un coût de réparation des désordres représentant 20 % des coûts de réparation de l'ensemble des sinistres.

Tous types de bâtiments confondus, les désordres affectant les fondations et les murs de soutènements représentent 4 % des désordres (10 % en coût).

Mais la méconnaissance du terrain n'est pas seule en cause : une investigation correcte a pu être assortie d'interprétations erronées, ou d'erreurs de calculs, de conception ou d'exécution.

L'existence de sinistres répétés nuit à l'image de l'ensemble des professionnels et produit des effets pervers (problèmes liés à l'assurabilité des acteurs, multiplication des déclarations CATNAT et conséquences sur les procédures d'indemnisation).



Arrêtés de reconnaissance de l'état de CAT.NAT-Retrait-gonflement -(CCR – Octobre 2002)

La multiplication des sinistres (en particulier dans les maisons individuelles) liés aux mouvements de sols de type retrait-gonflement, pose le problème de leur indemnisation dans le cadre des procédures CAT NAT en vigueur. Ainsi, par exemple, en Gironde, sur 198 communes ayant déposé des dossiers consécutivement à la sécheresse de l'été 2003, aucune n'a fait l'objet d'un classement CAT NAT., Sur le territoire national, 6 832 communes sont également concernées, 5 193 d'entre elles ont fait l'objet, à ce jour, d'un avis défavorable, avec les conséquences dramatiques que l'on peut imaginer pour les usagers sinistrés.

## 2. Analyse de la complexité

### 2.1. Complexité physique

La première source de risques, invoquée comme la raison majeure des sinistres est la complexité et la variété des sites sur lesquels les ouvrages sont bâtis.

La restriction des espaces disponibles conduit aujourd'hui à aménager, à urbaniser des espaces autrefois délaissés (sols de médiocre qualité) ou à produire des espaces densément bâtis, en multipliant les sources potentielles de désordres (*Breysse, Kastner, 2003*).

La notion de « vice caché du sol » est d'ailleurs souvent invoquée après sinistre.

L'objectif de la reconnaissance (étude géologique, géophysique, hydrogéologique, géotechnique) est pourtant, a priori, de fournir les éléments pertinents pour des prises de décisions éclairées des intervenants.

Le vice caché n'est pas censé le rester pendant les études.

Certains sinistres ne peuvent cependant être raisonnablement expliqués qu'a posteriori, par exemple par une très forte et inattendue hétérogénéité locale du site, ce qui conduit certains

spécialistes à être fort réservés sur les approches statistiques en géotechnique (*Magnan, 2000*).

Les méthodes mathématiques de la fiabilité s'avèrent plus utiles pour comparer des solutions ou des valeurs de risques, que pour estimer précisément ces risques. Les défaillances résultent d'ailleurs souvent de risques non envisagés (*Whitman, 2000, Baecher, 1998*).

Le plus souvent, les raisons géotechniques des sinistres sont certes inattendues mais néanmoins prévisibles au moins statistiquement.

Les sinistres auraient pu être prévenus par une approche adaptée.

Il est logique de penser que l'essentiel n'a pas été fait, en phase d'étude ou en phase de construction, pour tenir compte des problèmes potentiels d'origine géotechnique (constructions sur terrains hétérogènes, non prise en compte des questions hydrogéologiques, reprise en sous-œuvre sans précaution, variante économique à risque, absence de compétence géotechnique pendant les travaux -*Mousselon, 2003*).

De même, de nombreux travaux de recherche portent sur l'exploitation et la valorisation des résultats des campagnes de reconnaissance, qui ne sont souvent pas aussi poussées que la théorie le permet (*Favre, 2000, Moussoutéguy, 2002*).

Il en va de même pour les très nombreux sinistres qui résultent des mouvements superficiels de sols sensibles au retrait et au gonflement.

Ces sinistres dont le nombre a explosé en 2003, à la suite de conditions climatiques exceptionnelles (mais dont tout laisse à croire qu'elles deviendront rapidement courantes) ont de grandes conséquences pour les propriétaires qui en sont les victimes (moins-value de la propriété, inconfort psychologique) et, à terme, pour les élus des communes concernées. Devant la répétition de ces sinistres, se pose désormais le problème de leur indemnisation : est-elle du ressort de la collectivité (via le fonds CATNAT) ou de l'individu (via son assurance personnelle lorsqu'elle est contractuellement possible).

La non reconnaissance par les pouvoirs publics des sinistres de l'été 2003 comme relevant de la catastrophe naturelle est de nature à modifier les équilibres précaires existants.

Sur le plan purement physique (et géotechnique), les causes des désordres affectant les fondations d'ouvrages sont bien connues (*Mouroux et al, 1988, Altmayer, 1998, Sycodès 2001, Fondation Excellence 2003*). Elles sont relatives à la présence de sols compressibles ou hétérogènes, de charges irrégulièrement réparties, et à l'existence d'une structure fragile.

Une autre source majeure de désordre sont les mouvements sur sols argileux. Les gradients temporels (entre les saisons) et spatiaux (entre le sol sous l'ouvrage et à la périphérie) induisent des variations de teneur en eau qui produisent des déformations horizontales et verticales des sols. L'ouvrage est alors soumis aux déplacements qui en résultent et sa réponse dépend de leur intensité (relativement prévisible) et de sa sensibilité aux désordres (est-il, ou pas, sensible à ces déplacements).

Le BRGM a établi une méthodologie d'élaboration de la cartographie de l'aléa retrait-gonflement (*Vincent, 2003*), qu'il met en œuvre à l'échelle départementale (*Meisina et al, 1998*). L'analyse des risques, en particulier à une échelle plus fine, requiert de tenir compte de la vulnérabilité du bâti, ce qui n'est pas encore fait.

Le type et la profondeur des fondations et les principes constructifs jouent un rôle essentiel à ce niveau. Mais « de trop nombreux problèmes de fondations en maison individuelle sont dus à l'absence d'études de sol pour des raisons de coût. En ce qui concerne les fondations profondes, bien que les études soient fréquentes, leur mauvaise interprétation est cause de nombreux désordres » (*AQC, 2002*).

Les choses sont plus complexes quand on modifie l'échelle d'analyse, en passant de la parcelle au quartier ou à la commune, sur laquelle la nature des formations superficielles peut être fort variable.

Comment savoir, à l'échelle de la commune, si les zones sont ou non à risques, et adapter en conséquence les constructions ?

Qui doit recueillir et diffuser ces informations ?

Est-on prêt à payer pour un surcoût de construction alors que la présence locale du risque n'est pas avérée<sup>24</sup> ?

La reconnaissance des terrains est, par sa nature même, incomplète (seule une fraction infime du volume de sol concerné par l'ouvrage est directement observée), mais elle ne doit pas empêcher la prise de décision. Comme l'a dit Samuel Butler, cité par le Pr. Pedro Seco e Pinto lors de l'ouverture du dernier Colloque Européen de Géotechnique : « La vie est l'art de tirer des conclusions suffisantes à partir de prémisses incomplètes ».

Dès lors « La nature est-elle si complexe qu'elle ne nous permet pas de réduire les probabilités de défaillance ? Ou devons-nous reconnaître que les défaillances sont la conséquence des décideurs, du public dans son ensemble, des chercheurs et professeurs, des experts et des constructeurs ? » (*Seco e Pinto, 2003*).

---

<sup>24</sup> En fait, dans un tel problème, si l'aléa (présence des sols sensibles) est reconnu, le risque est quasiment avéré sur une période suffisante, puisque l'occurrence du facteur déclenchant (conditions climatiques) est quasi certain. Aujourd'hui, ce problème ne fait l'objet que d'une approche binaire (OUI-NON) qui mériterait d'être approfondie, par exemple dans le cadre d'une approche coût-bénéfice pour les différents intervenants (usagers, collectivités, pouvoirs publics).

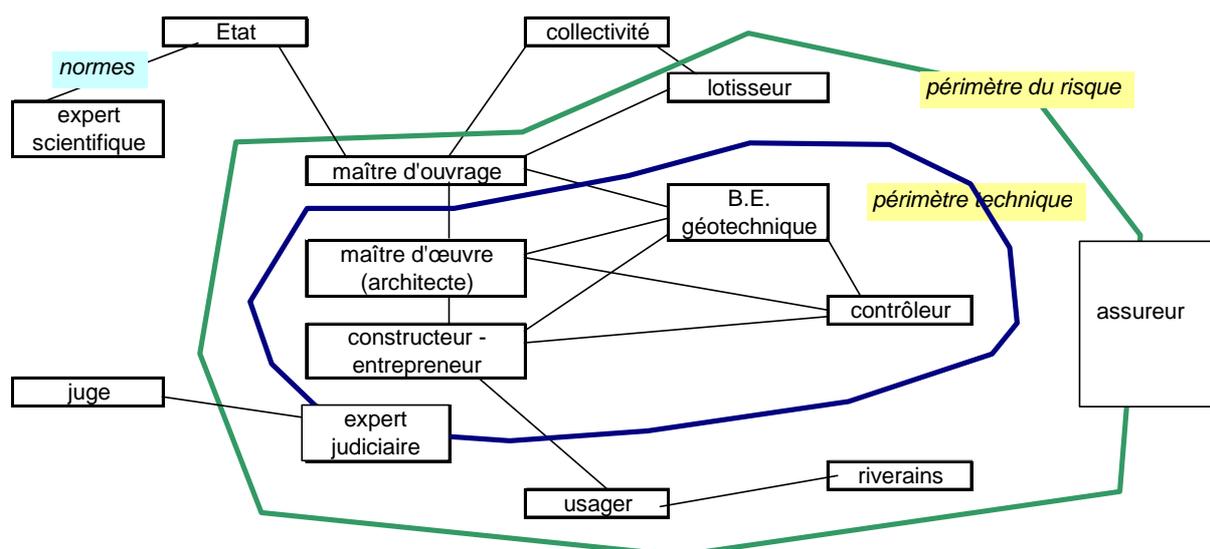
## 2.2. Complexité organisationnelle

Steedman et Barends (2003) ont exprimé la diversité des objectifs des acteurs concernés par l'acte de construire et confrontés aux risques attachés aux constructions. Le tableau ci-dessous résume leur opinion.

Acteur	Ce qu'il recherche	Son terrain d'action
Politiciens	Pouvoir	Elections
Autorités, pouvoirs publics	Contrôle	Réglementation
Industrie	Profit	Compétition
Journalistes, médias	Scandale	Information
Public	Sécurité, confort	Vie quotidienne

Si cette vision peut paraître caricaturale, elle révèle que le champ de la construction (et des défaillances potentielles) est un lieu de complexité et de contradiction.

Le graphe suivant situe les uns par rapport aux autres, l'ensemble des acteurs principaux de la construction, depuis les maîtres d'ouvrages et les architectes jusqu'aux experts près les assurances ou les tribunaux.



Le graphique révèle que le périmètre du risque est plus large que le seul périmètre technique, puisqu'il inclut des acteurs « non techniques » : maîtres d'ouvrages, usagers, assureurs... Les juristes eux-mêmes, ici placés à l'extérieur de ce périmètre, en modifiant les contours par l'évolution de la jurisprudence, qui peut conduire à des modifications des pratiques. Identifions rapidement la position de ces acteurs relativement aux risques et aux sinistres potentiels liés aux opérations de construction. Efforçons-nous d'identifier comment chacun de ces acteurs est concerné par les risques<sup>25</sup>.

### Les acteurs du champ technique.

Ce sont principalement le **constructeur-entrepreneur** (ex : le Constructeur de Maison Individuelle) et le **bureau d'études géotechniques**.

<sup>25</sup> Cette analyse repose, entre autres, sur la publication de Robert, 2003.

La Loi rejette les conséquences des aléas non maîtrisés sur le **constructeur**. Une meilleure connaissance des terrains réduit l'aléa, mais c'est une source de surcoût dans le cadre de marchés à prix forfaitaire.

Le constructeur est réputé accepter le sol. Il doit donc assumer les risques (faire des paris géotechniques<sup>26</sup>) en proposant des solutions techniques qui se révéleront peut-être inadaptées en cas de site défavorable (*Bâtir, 1997, Derrez, 1998*). Il est tenu à une obligation de conseil mais ne peut cependant pas, pour des raisons économiques, engager des études tant qu'il n'est pas assuré de disposer du marché (le client n'est souvent pas encore, à ce stade du projet, légalement propriétaire du terrain...).

Le **géotechnicien**, quand il participe au projet, le fait parfois sans que ses missions soient parfaitement cernées (doit-il simplement pratiquer des essais ou fournir des recommandations constructives, voire dimensionner les fondations ?).

Devant les difficultés auxquelles les géotechniciens se sont ainsi trouvés confrontés, leur Syndicat (U.S.G.) a mis en place récemment (Robert, 2003) une série de « missions types » normalisées (Norme P.94-500), afin que le client sache ce qu'il commande effectivement et ce à quoi s'engage le géotechnicien. La vive concurrence économique dans ce secteur est aussi facteur de dérives (études bâclées ou inadaptées, concurrence sauvage...).

Une source majeure de sinistres est le périmètre des interventions du géotechnicien. Il est souvent amené à fournir un avis technique en phase préliminaire du projet et n'est plus consulté pendant le chantier, alors que les solutions techniques peuvent être fort différentes de celles qui étaient envisagées au moment où il a donné son avis.

Il ne sera alors plus appelé que pour fournir son expertise et... qu'après sinistre !

Selon les cas, le géotechnicien est amené à jouer le rôle de Cassandra, et à mettre le doigt sur des problèmes potentiels qui ne surviendront pas. Les autres intervenants, peu au fait des concepts de « risques », en tireront des conclusions abusives pour le chantier suivant.

Le **contrôleur technique, rémunéré par le maître d'ouvrage**, s'assure du respect de la réglementation. Il n'est, le plus souvent, pas spécialiste de géotechnique (*il doit couvrir les domaines des structures, des équipements...*). Selon sa frilosité, il aura donc tendance à demander des études surabondantes, sans garantie de maîtrise des risques.

Sa rémunération par l'assureur serait-elle un gage de réduction des risques<sup>27</sup> ?

### Les acteurs du champ du risque.

Le **maître d'ouvrage** est, de fait, le créateur du risque. Il est cependant réputé incompetent (et il est de bon ton de dire qu'il a intérêt à le rester, pour ne pas être taxé d'une part de responsabilité en cas de sinistre). Il s'appuie donc sur des conseils techniques.

Le **lotisseur** ne voit souvent la reconnaissance géotechnique que comme une source de contraintes (délais supplémentaires), de surcoûts... et de moins-values potentielles, ou il la limite souvent à . Au contraire du mètre carré de bureau, l'ouvrage géotechnique ne se vend pas (*Mousselon, 2003*).

Faudrait-il remonter la chaîne jusqu'à accompagner par exemple la vente du terrain d'une étude de sol (sorte de « certificat de non risque » ?). Une question serait encore à résoudre : le

<sup>26</sup> En cas de problème, le géotechnicien risque d'assumer au moins une part des conséquences de ces paris.

<sup>27</sup> C'était la pratique avant la Loi Spinetta de 1978 qui a fixé le régime actuel de l'Assurance Construction.

risque dépend aussi de la destination finale (inconnue à cet instant) et des conditions de réalisation (contexte climatique, technologies employées...). Un terrain urbanisable n'est pas forcément un terrain constructible. Un terrain constructible peut l'être sous réserves.

L'Assemblée Nationale (*J.O. du 6/10/97*) a préconisé l'établissement d'une carte d'identité des terrains à construire situés dans les lotissements afin d'apporter aux futurs acquéreurs des informations... Mais se pose le problème du coût de l'étude et de sa prise en charge et de la moins-value potentielle des terrains à risque...

La réalité montre que de nombreux sinistres résultent des interactions entre les autres acteurs, mais il est difficile de persuader les maîtres d'ouvrages de l'intérêt d'une étude de sol préalable, ou encore de l'intérêt d'associer le géotechnicien dans la continuité du projet (et pas seulement en phase préliminaire).

Nous verrons que le facteur temps (respect de délais serrés, retards et urgences...) contribue aux risques. Or le maître d'ouvrage est le seul des acteurs qui maîtrise de temps (c'est lui qui impose le calendrier global).

Les **collectivités territoriales** (communes par exemple) jouent un double rôle. L'acteur politique local est à la fois maître d'ouvrage, donc créateur de risques (infrastructures, logements, équipements) et normateur (la **commune** élabore les documents d'urbanisme déterminant les zones constructibles et délivre les permis de construire).

Les **assureurs** interviennent à différents niveaux, soit par exemple en tant qu'assureur des maîtres d'ouvrages (ex : assurance dommage ouvrages), soit comme assureur des intervenants (ex : responsabilités professionnelles des bureaux d'études). Ils ont un intérêt, tout particulièrement dans le champ de la mutualisation, à réduire la sinistralité et à engager des actions en ce sens. Leurs compétences techniques sont cependant souvent réduites. Nous reviendrons sur leurs préoccupations au paragraphe 3.

### Les acteurs périphériques.

Les **juristes** doivent se prononcer en cas de sinistre et faire la part des responsabilités. La jurisprudence est fluctuante et défavorable aux hommes de l'art (constructeurs, géotechniciens), réputés connaître le risque et savoir le maîtriser (**Karila, 1997, Carrière, 2003**).

La faute éventuelle est appréciée au regard de l'étendue des obligations avec une distinction entre les obligations de moyens et les obligations de résultats :

- l'obligation de résultat repose sur une présomption de faute dont le contractant ne pourra se dégager que par la démonstration d'une cause étrangère,
- l'obligation de moyens (ou de prudence et diligence) n'engage le débiteur qu'à un certain comportement. Elle n'est sanctionnée que si tous les moyens promis ou escomptés n'ont pas été mis en œuvre. Un comportement de « bon père de famille » dégage de toute responsabilité selon les prescriptions de l'article 1137 du Code Civil (*Carrière, 2003*).

Tout intervenant à l'acte de construire est tenu d'une obligation de conseil, et plus généralement d'information, qui est une création de la jurisprudence. Il doit ainsi informer des contre-indications de sa propre prestation, de ses limites, des risques encourus, des contraintes techniques.... Il doit s'exprimer par des réserves expresses, précises, nécessairement écrites.

La tendance est de protéger le maître d'ouvrage, réputé incompetent, et qui n'a donc pas intérêt à cerner les risques en amont<sup>28</sup>.

Les missions des **pouvoirs publics** dans le secteur de la construction et de l'aménagement s'inscrivent dans quatre champs prioritaires : la sécurité des ouvrages, la salubrité des locaux, le respect des règles d'urbanisme et environnementales, la protection du patrimoine naturel ou bâti. La mise en œuvre de ces missions s'appuie sur : la normalisation, la pratique du contrôle délégué, le recours à l'assurance obligatoire, le contrôle direct.

Le tableau qui suit résume les différents modes d'action des pouvoirs publics.

APPLICATION	SECURITE DES OUVRAGES	SALUBRITE DES LOCAUX	RESPECT DES REGLES	PROTECTION PATRIMOINE
La norme	Stabilité/ Résistance incendie /Sécurité des équipements. <i>Elle est négociée avec les organisations professionnelles.</i>			
Le contrôle délégué	Il est effectué par des prestataires extérieurs agréés, ou ordinaires. <i>Contractuel / Obligatoire.</i>			
L'assurance obligatoire	Il faut y associer les assurances complémentaires (Tous Risques Chantiers). <i>Le dispositif d'assurance induit un processus de contrôle.</i>			
Le contrôle direct	Il est limité à certains risques (sécurité/incendie) – minimaliste - <i>Portée du dispositif de sanction.</i>			

Ces actions ne peuvent être analysées indépendamment du contexte (économique, politique). Ainsi, modifier les normes pour approfondir les fondations (et réduire ainsi la sinistralité de type retrait-gonflement) coûterait plus cher que les surcoûts provoqués par les sinistres, d'où une position frileuse des **pouvoirs publics** qui cherchent plutôt à réduire le coût de la construction.

Les travaux en cours au Ministère de l'Environnement pour définir les modèles des futurs règlements (Plan de prévention des risques retrait-gonflement dus à la sécheresse) pourraient exclure du champ de l'indemnisation la plus grande part du bâti (par exemple en imposant une distance entre l'habitation et les plantations égale à la hauteur des arbres à maturité) (DPPR, 2004).

### 2.3. Le risque géotechnique : une appellation abusive

Le qualificatif de « risque géotechnique » s'est imposé pour traiter de l'ensemble des problèmes, désordres et sinistres relatifs aux terrains. Cette appellation raccourcie est abusive car si la géotechnique constitue bien l'aléa, le risque résulte de l'interaction de l'homme (géotechnicien ou non !) avec cet aléa.

Les sinistres relèvent peu de sols viciés mais plus de sols mal reconnus ou desquels on n'a pas su tirer les conclusions géotechniques qui s'imposaient, y compris lorsque de nouvelles informations étaient disponibles en phase de construction. C'est donc quand il n'y a pas de géotechnique (ou de la mauvaise géotechnique) que le « risque géotechnique » est le plus élevé..

<sup>28</sup> L'incompétence technique (et précisément géotechniques) des experts judiciaires est mise en avant par certains auteurs (Lemaire, 2003), étant donnée la grande variété des champs techniques sur lesquels ils peuvent être amenés à se prononcer. La formation apparaît comme la seule solution dans ce cas.

Il n'y a donc pas de « **risques géotechnique** » dans l'absolu, mais plutôt des « **risques liés à la géotechnique** », qui découlent de la mauvaise appréciation du sol, de la mauvaise adaptation de l'ouvrage au sol, de pratiques inadaptées ou d'une mauvaise organisation. On préférera utiliser cette appellation de « risques liés à la géotechnique » pour qualifier les problèmes qui nous intéressent<sup>29</sup>.

Nous avons vu que l'organisation des marchés, les conflits d'intérêt entre acteurs, la question de la prise en charge d'études préalables... sont autant de sources potentielles de risques. Une meilleure maîtrise des risques passe par exemple par :

- une rédaction des cahiers des charges techniques issue d'un dialogue entre maître d'ouvrage délégué et géotechnicien,
- l'association des géotechniciens à toutes les phases de l'opération. Il s'agit ici de repenser l'organisation temporelle des relations entre les acteurs : de nombreuses données sur les sols peuvent être acquises, à peu de frais, en cours de chantier. Leur prise en compte peut alors modifier significativement les solutions techniques et réduire les risques. Encore faut-il que l'organisation des opérations permette cette analyse,
- l'obligation pour le maître d'ouvrage de s'associer un maître d'œuvre spécialisé (sous réserve de ne plus être couvert par l'assurance).

D'une façon générale, les acteurs susceptibles de participer à la qualité devraient être associées à toutes les étapes de la construction. Si la solution est simple sur le papier, l'existence de nombreux sinistres est la preuve que la non qualité est répandue.

On tendrait alors vers une organisation plus proche de celle des pays anglo-saxons, où l'on ne distinguerait pas le coût de l'étude du coût de la construction et du coût de l'assurance, mais où l'on viserait à une gestion globale du risque de projet, rejoignant ainsi la problématique abordée dans le Thème 3 (Robert, 2003).

### **3. Deux familles d'acteurs plus particulièrement concernés : géotechniciens et assureurs**

L'assurance a pour fonction sociale de rationaliser le rapport à la fatalité et introduit de la solidarité (en particulier par le biais de la mutualisation). Elle fait reculer la fatalité aveugle : le risque est calculable, prévisible, gérable... il devient assurable. Elle contribue ainsi en partie à la demande de sécurité (le préjudice est réparé, on parle de « parade financière » en gestion des risques, comme on parle de « parade réglementaire » ou de « parade technique »). A l'inverse, « Attendu que le contrat d'assurance, par nature aléatoire ne peut porter sur un risque que l'assuré sait déjà réalisé... »<sup>30</sup>, on ne peut assurer que l'incertain. Or, les assureurs du domaine de la construction (bâtiment et génie civil), constatant une forte sinistralité liée à la géotechnique, ont eu tendance, ces dernières années, à se retirer de ce champ<sup>31</sup>. Il est devenu difficile et très coûteux pour les géotechniciens de souscrire des contrats d'assurance, pourtant obligatoires pour leur activité.

<sup>29</sup> Un peu d'humour noir : certains assureurs parlent même de « risque géotechnicien » tant la sinistralité est forte dans le domaine et tant il devient difficile pour les géotechniciens de trouver une assurance !

<sup>30</sup> Cour de Cassation, chambre civile 1, audience publique du 4-11-2003, n° pourvoi 01-14942.

<sup>31</sup> Certains assureurs imposent même des conventions aux géotechniciens, par lesquelles ils contribuent indirectement à la non qualité ! Ainsi, le texte d'une telle convention peut-il être en contradiction avec les nouvelles normes géotechniques (définition des missions) et demander au géotechnicien « d'alerter ... l'expert sur les particularités d'un type de sol pouvant comporter des anomalies ... », sans que le géotechnicien ait reçu mission (ni rétribution) pour le faire.

La question de l'assurance peut être posée comme celle d'un partage de risque, incluant le risque financier pour l'assureur, qui peut dès lors, soit refuser d'intervenir, soit agir pour modifier les équilibres entre les acteurs, leurs attitudes et les risques qui en résultent.

Le partage équitable du risque suppose aussi un égal accès à l'information pour tous les partenaires. Le porter à connaissance du risque est un lieu de contradiction (coût – responsabilité) entre les différents intérêts.

Les possibilités, liées aux NTIC, de gérer les informations utiles en temps réel, sont susceptibles de modifier les comportements des acteurs (et leurs responsabilités).

Là encore, la notion du périmètre du risque est essentielle.

Le sinistre génère des coûts, mais aussi de l'activité économique (y compris pour les géotechniciens en phase d'expertise ou de travaux de réparation). Ce qui importe est d'allouer les coûts à ceux qui sont censés les supporter. L'éclatement de la maîtrise d'ouvrage (en particulier dans les collectivités territoriales), la multiplication des normes et des enjeux (par exemple environnementaux) compliquent les analyses.

#### Des questions posées :

Dans le domaine des risques liés à la géotechnique, on peut par exemple s'interroger :

- **Qui doit assumer la prévention des risques** (par exemple en prenant en charge les études géotechniques préalables)<sup>32</sup> ?

- **Qui doit supporter les conséquences** des risques mal ou non maîtrisés ?

- **Comment ajuster le risque encouru et le risque acceptable** : qui est prêt à accepter quoi ?

Selon qu'il s'agit de risques « accidentels » (sinistres consécutifs à une opération de construction) ou plus « chroniques » (sinistres liés à la sécheresse par exemple), les réponses et les mécanismes d'indemnisation pourront être différents.

On peut aussi se demander ce qui relève de l'accident (et peut être prévenu par une démarche qualité, ou assuré) et ce qui relève de l'impondérable, de l'imprévisible (donc de la solidarité nationale).

Par exemple, dans le cas des sinistres consécutifs aux retraits et gonflements des argiles, on peut s'interroger :

**Dans quelle mesure et comment un événement climatique peut-il être qualifié d'exceptionnel ?** Quelle est la limite entre le « normal », auquel doit faire face l'ouvrage, et l'exceptionnel, trop rare pour qu'il soit économiquement viable de dimensionner l'ouvrage en conséquence ? Les modifications climatiques en cours peuvent d'ailleurs déplacer ces limites.

Une question corollaire est : **dans quelle mesure une disposition constructive peut-elle être considérée comme un « vice de construction » ?**

#### Des possibilités d'action :

Les voies d'action de l'assureur sont multiples : action en justice en remboursement d'indemnités CATNAT (commune condamnée pour non entretien des digues en cas d'inondation par exemple), résiliation des portefeuilles, majoration des primes et des franchises, études et expertises ciblées sur des chantiers ou ouvrages exceptionnels, prévention et formation des assurés...

<sup>32</sup> Les honoraires des géotechniciens correspondent à environ 0,4 % du coût de la construction. Dans une approche d'ingénierie concurrente, l'assurance sur les sinistres liés à la géotechnique pourrait être mutualisée, et pas à la seule charge du géotechnicien.

L'analyse des risques, dans le domaine des sinistres liés à la géotechnique, doit alors être approfondie et les facteurs de risques doivent être identifiés, qualifiés et quantifiés :

- contexte physique et établissement de typologies,
- nature et performances des acteurs,
- nature des interactions entre acteurs,
- méthodes mises en œuvre pour réduire les risques (formation, procédures qualité, prévention, contrôle),
- utilisation de solutions techniques innovantes,
- influence de la sous-traitance...

On rejoint là encore des problématiques voisines de celles traitées au sein de Thème 3. L'assureur est de plus en plus conduit à se préoccuper du comportement des acteurs, de façon à les modifier éventuellement, en vue d'une meilleure maîtrise des risques (*Melacca, 2004*).

#### 4. Besoins de recherche - propositions méthodologiques

Les réponses aux questions formulées ci-dessus s'avèrent complexes. Elles ne peuvent découler d'une seule analyse des phénomènes physiques et des dimensions techniques, mais doivent résulter d'une analyse de la complexité des problèmes traités, que nous nous sommes efforcés d'explicitier.

Il s'agit bien avant tout d'identifier et de qualifier (au travers de sites pilotes ou de typologies établies en exploitant par exemple le retour d'expérience<sup>33</sup>) les pratiques, les processus, les comportements qui favorisent les situations dégradées (au sens de la gestion de risques, c.a.d. telles que le risque « dérive » sans être maîtrisé).

Pour en rester au plan technique, certaines questions restent totalement ouvertes. La notion de **vulnérabilité d'un ouvrage** (aux actions climatiques diffuses, mais aussi aux modifications ou aux « erreurs » en cours de construction) est ainsi une question centrale, qui mériterait d'être approfondie : dans quelle mesure tel mode de réalisation est-il plus ou moins sensible à des « écarts » en phase de travaux ? Existe-t-il des modes de réalisation/de construction plus « robustes » que d'autres<sup>34</sup> ?

Dans l'optique d'une optimisation technico-économique, il faudrait aussi affiner l'analyse de la récurrence des événements diffus (de type gonflement-retrait) en essayant de **préciser la nature et l'étendue des périmètres à risque**.

Ce travail pourrait déboucher sur des recommandations techniques, mais aussi dans le domaine de l'urbanisme : comment qualifier l'aléa à l'échelle du quartier ou de la parcelle et adapter les modes de reconnaissance et de construction sans surdimensionner systématiquement ?

<sup>33</sup> On peut comprendre cette notion de « retour d'expérience » au sens de l'analyse des défaillances (voir le Thème 2 – ou ingénierie forensique) comme au sens de celle concernant les ouvrages en service (voir le Thème 4).

<sup>34</sup> On rejoint ici la notion de vulnérabilité qui fait l'objet de recherches face aux actions sismiques et, plus récemment, face aux incendies ou aux inondations, en l'étendant à d'autres préoccupations. Certains auteurs analysent aussi la vulnérabilité face aux mouvements de sols, principalement par le biais d'études de cas sur le patrimoine historique. Leurs réflexions pourront être utilisées avec profit. Aujourd'hui, les seules prescriptions portent sur le respect de déplacements différentiels limites (Frank, 1999), que l'on est d'ailleurs bien en peine de prédire.

Il convient aussi d'étudier les **réponses (*techniques et non techniques*) des différents acteurs et la manière dont elles modifient les risques**. Ce travail doit s'appuyer sur l'analyse de la perception des risques par chacun des intervenants et sur l'analyse des conflits d'intérêts<sup>35</sup>. Il pourra aussi étudier comment une modification des pratiques (meilleure formation et prévention, ingénierie concourante – constitution d'une équipe de maîtrise d'oeuvre, principe de dévolution des marchés – ex. moins disant/mieux disant) pourrait contribuer à la qualité.

La **dimension temporelle** est essentielle, qu'il s'agisse du court terme (le risque résultant de l'urgence, du besoin de respecter des délais trop serrés – le maître d'ouvrage, qui impose les délais, est le seul à avoir la maîtrise du temps dans le projet) ou, au contraire, du long terme (le risque, non perceptible à court terme, est imminent sur le long terme, du fait de l'évolution des sols par exemple). La façon dont les modes modernes de gestion de l'information (NTIC, bases de données...) peut contribuer à une meilleure maîtrise des risques constitue un autre axe de recherche.

De ces questionnements résultent quelques propositions prioritaires d'action scientifique.

#### **Objectifs :**

Procéder à une analyse pluridisciplinaire du « risque de sol » pour en identifier les différentes composantes, étudier dans quelle mesure les acteurs supportent le risque, imaginer les avantages et les inconvénients qu'il pourrait y avoir à modifier les points d'équilibre actuels.

L'ensemble du projet pourrait être articulé autour d'un axe :

**savoir et porter à connaissance → recommander et responsabiliser**

Le projet déboucherait sur la **rédaction de documents et de recommandations méthodologiques** (ensemble de bonnes pratiques pour réduire les risques liés à la géotechnique), **destiné à servir de référentiel à l'ensemble des acteurs concernés par la construction**.

Il s'appuierait sur l'analyse de situations caractéristiques dans lesquelles les risques sont peu ou mal maîtrisés et dont il résulte des sinistres conséquents, soit par leur ampleur, soit par leur fréquence.

#### Mode d'organisation :

L'objectif étant de faire adhérer l'ensemble des acteurs à la « démarche qualité », il serait nécessaire de les faire participer, de façon collective, à la rédaction du guide, ce qui permettrait à la fois :

- de les impliquer et de les faire adhérer au projet,
- de nourrir le projet (et les documents collectifs « délivrables ») des savoirs, des préoccupations, des contraintes... émanant de l'ensemble des acteurs,

<sup>35</sup> Un questionnaire a été rédigé, à partir des questionnaires élaborés par les responsables du Thème 1, dans le cadre d'un stage de DESS. Décliné en trois versions (constructeur, géotechnicien, collectivité locale), il est destiné à appréhender, au travers d'entretiens, la perception des risques liés à la géotechnique par les professionnels. L'un de ces questionnaires est présenté en Annexe 2-A (questionnaire Q3).

- d'élaborer des propositions et recommandations bénéficiant de la plus large adhésion.

Les thématiques traitées pourront être affinées, mais pourront s'organiser en deux thèmes d'intérêt majeur<sup>36</sup> :

- la prévention des **risques liés à la géotechnique lors des opérations de construction**<sup>37</sup> : comment réduire (par la formation, la communication, la recommandation...) la sinistralité due aux sols pendant et à l'issue des chantiers de géotechnique et de construction,
- la prévention **des risques liés au mouvements de sols de type retrait-gonflement**<sup>38</sup> : comment réduire (par l'information, la communication, la recommandation...) la sinistralité qui en résulte.

Les documents joints (Annexes 6A et 6B) précisent la problématique pour chacun de ces deux thèmes. Cependant, une même démarche méthodologique, élaborée en conformité avec le projet scientifique général du GIS MR-GenCi, pourra être suivie pour les deux thèmes :

#### Première phase (risk analysis)

- (a) identification des familles d'acteurs concernés et des personnes pouvant contribuer (dans le GIS ou à l'extérieur du GIS) à la démarche collective,
- (b) identification et analyse des points de vue portés par chacun des acteurs sur la question des risques : degré de connaissance, degré d'implication, manière dont ils perçoivent et supportent les risques, relations avec les autres acteurs et conséquences, enjeux aux différentes échelles de temps et d'espace...
- (c) recueil d'information sur les pratiques : réglementaires, techniques, juridiques...
- (d) recueil d'information sur la sinistralité : statistiques, étude de cas...
- (e) analyse de la sinistralité : identification des causes – forensic engineering<sup>39</sup> -, mode de remédiation, jurisprudence...

#### Deuxième phase (risk assessment)

- (f) identification des typologies de problèmes représentatifs<sup>40</sup>,
- (g) identifier la façon dont les procédures, textes, habitudes, jurisprudences, modes de passation de marché... influencent les points actuels d'équilibre du système et la création de situation dégradées,
- (h) identifier ce que chaque acteur a à gagner ou à perdre de modifications de la situation actuelle (des textes, des usages, des relations...) – identifier les difficultés et les verrous (techniques, scientifiques, économiques, psychologiques, juridiques, réglementaires...).

#### Troisième phase (risk management)

- (i) possibilité d'initiation d'une démarche pilote sur une aire géographique précise ou sur une opération d'aménagement particulière

<sup>36</sup> D'autres thèmes, tels par exemple que les pathologies des dallages, pourraient être abordés, mais nous avons choisi de focaliser ici sur les 2 thèmes traités par le groupe.

<sup>37</sup> La réflexion gagnera à être menée dans le cadre chronologique des opérations de construction (planification, chantiers), en s'appuyant sur des études de cas. C'est souvent la chronologie elle-même (gestion des délais des intervenants) qui révèle les dysfonctionnements aux interfaces. L'analyse des événements volontaires, prévisibles, aléatoires (comportement des acteurs, procédures, délais légaux...) participant de la gestion ou non gestion du risque permettra d'apprécier les difficultés, les verrous et les rapports de force

<sup>38</sup> La réflexion gagnera à s'appuyer sur un cadre géographique délimité (agglomération, département ?), qui pourra servir de base aux études de cas. La logique historique et géographique d'aménagement est un des facteurs constitutifs du risque.

<sup>39</sup> Ce travail pourra accompagner une démarche plus large entreprise dans le cadre du GIS sur l'ingénierie forensique (analyse des modes et des causes de défaillance, en intégrant les dimensions organisationnelles – thème 4) et avoir des retombées en termes de bases de données et d'enseignement (thème 1).

<sup>40</sup> Ce travail pourra s'appuyer sur les compétences des acteurs du GIS dans le domaine de l'analyse méthodologique relative à la typologie des risques (thème 3).

- (j) établissement collectif des recommandations à caractère généraliste et des recommandations ciblées pour chaque famille d'acteur,
- (k) diffusion de ces recommandations : rédaction du guide méthodologique, séminaires de sensibilisation et de formation (ciblés selon les acteurs visés)...

Les principales différences entre les deux sujets envisagés proviennent :

- de la nature des sinistres, accidentels et pouvant être de forte ampleur dans le premier cas, de faible ampleur mais à caractère diffus et cumulatif dans le second cas,
- de la part prise par la dimension temporelle : dans le premier cas, les sinistres peuvent survenir en phase de construction ou à court terme ; dans le second cas, ils peuvent survenir plus tard, voire après expiration de la garantie décennale. Dès lors les acteurs principalement concernés et les modes de remédiation diffèrent,
- des échelles spatiales concernées, plutôt localisées autour du projet dans le premier cas, pouvant couvrir une zone géographique très étendue dans le second cas.

### Références bibliographiques

- Agence Qualité Construction, Analyse des données Sycodès (Système de Collecte des Désordres), juin 2002.
- Altmayer F., Des fondations qui n'assurent pas leurs fonctions, CSTB magazine, 120, 12/1998.
- Baecher G.B., Parameters and approximations in geotechnical reliability, Uncertainty modeling and analysis in civil engineering, ed. B.M. Ayyub, pp. 489-499.
- Bâtir Ensemble, Le constructeur de maisons individuelles et les études de sol, Juris Info, pp. 21-26, 12-1997.
- Breysse D., Kastner R., Le sol urbain, Traité MIM, Hermès, 2003.
- Carrière M.L., La jurisprudence, Coll. Solscope 2003, L'étude géotechnique : nécessité technique ou garantie juridique ?, Poitiers, 9-10/10/2003.
- Derrez P., Maison individuelle : risques du sol et suppléments de fondations, Le Moniteur 16-1-1998, pp. 45-46.
- D.P.P.R., Modèle de règlement, plan de prévention des risques « retrait-gonflement » dus à la sécheresse, Ministère de l'environnement, Version provisoire, janvier 2004.
- Favre J.L., Les incertitudes géologiques et géotechniques, Colloque Risque et Génie Civil, UNESCO, 8-9/11/2000, Paris.
- Fondation Excellence, SMABTP, Fiches « pathologie formation », 2003 ?
- Frank R., Tassements et déplacements admissibles en structures, in Calcul des fondations superficielles et profondes, pp. 126-133, ed. Presses ENPC, 1999.
- Karila J.P., Les risques tenant à la nature du sol, RD imm., 19, 4, pp. 545-558, 10-12/1997.
- Lemaire P., Exemples concrets de sinistres susceptibles de mises en cause de géotechniciens, Coll. Solscope 2003, L'étude géotechnique : nécessité technique ou garantie juridique ?, Poitiers, 9-10/10/2003.
- Magnan J.P., Quelques spécificités du problème des incertitudes en géotechnique, Rev. Française de Géotechnique, 93, pp. 3-9, 2000.
- Meisina C., Chassagneux D., Leroi E., Mouroux P. (1998) – Cartographie de l'aléa retrait-gonflement des sols argileux. Proposition de méthodologie. Article et présentation au 8<sup>e</sup> Congrès de l'Association Internationale de Géologie de l'Ingénieur et de l'Environnement.
- Melacca V., Risque(s) et assurance(s), Séminaire doctoral Génie Civil, Aussois, 14-15 mars 2004.
- Mouroux P., Margron P. et Pinte J.C. (1988) – La construction économique sur sols gonflants. Edit. BRGM, Manuels et Méthodes n° 14.
- Mousselon J.J., Les pathologies de la géotechnique, Coll. Solscope 2003, L'étude géotechnique : nécessité technique ou garantie juridique ?, Poitiers, 9-10/10/2003.
- Moussoutéguy N., Utilisation combinée des essais pressiométriques et diagraphies instantanées pour mieux évaluer le risque géotechnique en reconnaissance des sols, Doct. Université Bordeaux 1, 2002.
- Robert J., Le suivi géotechnique, maillon indispensable de la maîtrise des risques, Coll. Solscope 2003, L'étude géotechnique : nécessité technique ou garantie juridique ?, Poitiers, 9-10/10/2003.
- Seco e Pinto P., Opening a dialogue on failure, Ground Engineering, 8-2003, pp. 20-21.
- Steedman S., Barends F.B.J., Geotechnet, in Geotechnical Problems with man-made and man influenced grounds, XIIIth Eur. Conf. On soils mechanics and geotechnical engineering, Prague, 25-28/8/2003, pp. 327-632.
- Sycodès information, Pathologie des fondations en maison individuelle, n° 67, pp. 54-57, 7/2001.
- Vincent M. (2003) – Le risque de retrait-gonflement des argiles – Cahiers de l'IAURIF, n° 138, octobre 2003, pp. 95 à 101
- Whitman R.V., Organizing and evaluating uncertainty in geotechnical engineering, Journ. Geotech. and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Vol 126, n. 7, pp. 583-593, 7/2000.

## ANNEXE 6-A

**PREVENTION DES RISQUES LIES A LA GEOTECHNIQUE  
LORS DES OPERATIONS DE CHANTIER**

Comment réduire (par la formation, la communication, la recommandation...) la sinistralité due aux sols pendant et à l'issue des chantiers de géotechnique et de construction ?

**PROBLEMATIQUE - CONTEXTE - ENJEUX**

Les défaillances et sinistres résultent de causes naturelles (liées aux matériaux, aux sites, aux ouvrages) et de causes humaines (mauvaises décisions, défaut de coordination ou d'organisation, usage inapproprié). La maîtrise des risques attachés aux ouvrages en phase de conception, de construction ou d'exploitation demande une analyse et une maîtrise de la complexité des systèmes : systèmes techniques (le composant de génie civil n'est le plus souvent qu'un élément d'un macro-système d'infrastructure plus large, au bon fonctionnement duquel il contribue) et systèmes organisationnels (les relations entre les multiples intervenants autour d'un ouvrage sont complexes et facteur de risque). La complexité croît également du fait de l'élargissement des exigences (impacts environnementaux, profusion de la normalisation ou des recommandations, interventions des usagers...) et de l'éclatement de la maîtrise d'ouvrage (part croissante des collectivités territoriales). Enfin, les conséquences des défaillances ne sont pas seulement techniques, mais aussi économiques, sociales, environnementales, juridiques...

La dimension temporelle joue un rôle essentiel, qu'il s'agisse de son raccourcissement (la réduction des délais, les interventions urgentes peuvent être source de risque) ou de son allongement (les exigences de bon fonctionnement des ouvrages s'étendent avec la nécessité économique de maintenir en service des ouvrages anciens et d'en prévenir les défaillances).

Enfin, le développement des nouvelles technologies (NTIC) et l'instantanéité de l'information qu'elles rendent possibles, modifie le rapport que chaque acteur entretient avec le risque et fournit des outils qui peuvent contribuer à une prévention plus efficaces des risques.

**PREOCCUPATIONS ET BESOINS SCIENTIFIQUES**

Les acteurs de la construction (maîtrise d'ouvrage – maîtrise d'œuvre – entreprises – exploitants) sont de plus en plus « exposés » dans l'exercice de leurs contrats, et leur stratégie de prévention / gestion des risques s'avère d'autant plus complexe. Le travail s'attachera à identifier et qualifier les pratiques/processus/règles qui favorisent les situations dégradées (au sens de la gestion de risques, c'est-à-dire telles que le risque «dérive» sans être maîtrisé, les réponses des différents acteurs et la façon dont le développement de nouveaux outils et modes d'organisation (NTIC, ingénierie concourante, bonnes pratiques) peut modifier les équilibres entre les acteurs et permettre une maîtrise plus efficace des risques.

## PROGRAMME D'ACTION

L'action procèdera à une analyse pluridisciplinaire des risques attachés aux acteurs et à leurs modes d'organisation dans quelques situations représentatives par leur complexité et leurs enjeux. Il s'agira d'identifier :

- la façon dont chacun des acteurs se positionne par rapport aux risques (perception, acceptation, responsabilité),
- quels sont les degrés de liberté (techniques, réglementaires, économiques...) dont il dispose et les rapports de force qui s'établissent (sinistralité et conséquences économiques et sociales, jurisprudence),
- quels sont les facteurs constitutifs de la vulnérabilité aux différentes échelles (vulnérabilité des constructions, mais aussi du tissu urbain dans l'ensemble de ses composantes) et comment ces facteurs peuvent être appréciés,
- comment le risque global résulte de l'organisation (temporelle, économique, réglementaire) des acteurs et des opérations,
- par quelles voies ce risque peut être modifié, et les conséquences sur chacun des acteurs.

L'étude sera menée en conduisant un retour d'expérience sur des projets de construction clairement identifiés. La recherche d'invariants ou de typologies représentatives permettra de passer du cas particulier au cas génériques et d'élaborer une représentation des risques.

L'action pourra se décliner en trois phases.

### *Première phase (risk analysis)*

- (a) identification des familles d'acteurs concernés et des personnes pouvant contribuer (dans le GIS ou à l'extérieur du GIS) à la démarche collective,
- (b) identification et analyse des points de vue portés par chacun des acteurs sur la question des risques liés à la géotechnique lors des opérations de construction : degré de connaissance, degré d'implication, manière dont ils perçoivent et supportent les risques, relations avec les autres acteurs et conséquences, enjeux aux différentes échelles de temps et d'espace...
- (c) recueil d'information sur les pratiques : réglementaires, techniques, juridiques...,
- (d) recueil d'information sur la sinistralité : statistiques, étude de cas...
- (e) analyse de la sinistralité : identification des causes – forensic engineering -, mode de remédiation, jurisprudence...

Cette phase pourra être menée en partie sous la forme d'enquêtes, et en partie sur la base d'entretiens visant à recueillir des « cas significatifs » qui serviront à l'analyse ultérieure. Elle pourrait aussi déboucher sur des propositions d'organisation du retour d'expérience en cas de sinistre (ou de sinistre évité).

### *Deuxième phase (risk assessment)*

- (f) identification des typologies de problèmes représentatifs, à partir des données recueillies en première phase,
- (g) identifier la façon dont les procédures, textes, habitudes, jurisprudences, modes de passation de marché... influencent les points actuels d'équilibre du système et la création de situation dégradées,

L'analyse systémique de l'organisation de l'opération de construction sera conduite de façon à estimer puis à évaluer la vulnérabilité à différentes échelles,

(h) identifier ce que chaque acteur a à gagner ou à perdre de modifications de la situation actuelle (des textes, des usages, des relations...) – identifier les difficultés et les verrous (techniques, scientifiques, économiques, psychologiques, juridiques, réglementaires...).

*Troisième phase (risk management)*

(i) possibilité d'initiation d'une démarche pilote sur une aire géographique précise ou sur une opération d'aménagement particulière,

(j) établissement collectif des recommandations à caractère généraliste (ingénierie concourante) et des recommandations ciblées pour chaque famille d'acteur (géotechniciens, architectes, constructeurs, maîtres d'ouvrages, experts, juristes, assureurs...),

(k) diffusion de ces recommandations : rédaction du guide méthodologique, séminaires de sensibilisation et de formation (ciblés selon les acteurs visés, par exemple sensibilisation à la qualité de projet pour les maîtres d'ouvrages), organisation du retour d'expérience...

Le « guide méthodologique » pourrait se présenter sous la forme d'une synthèse des bonnes pratiques, accompagné d'illustrations et d'évaluation des risques encourus, et de recommandations relatives à la technique et/ou à l'organisation des opérations.

Une procédure de retour d'expérience de la sinistralité pourrait être mise en place, avec des visées à la fois illustratives pour les différents acteurs de la construction et pédagogiques pour les formateurs.

## ANNEXE 6-B

**PREVENTION DES RISQUES**  
**LIES AU MOUVEMENTS DE SOLS DE TYPE RETRAIT-GONFLEMENT**

Comment réduire (par la formation, la communication, la recommandation...)  
la sinistralité qui en résulte ?

**PROBLEMATIQUE - CONTEXTE - ENJEUX**

Les défaillances et sinistres résultent de causes naturelles (liées aux matériaux, aux sites, aux ouvrages) et de causes humaines (mauvaises décisions, défaut de coordination ou d'organisation, usage inapproprié). La maîtrise des risques attachés aux ouvrages en phase de conception, de construction ou d'exploitation demande une analyse et une maîtrise de la complexité des systèmes techniques et organisationnels (les relations entre les multiples intervenants dans une logique d'aménagement et de gestion d'un territoire). Les conséquences des défaillances ne sont pas seulement techniques, mais aussi économiques, sociales, environnementales, juridiques...

La complexité croît également du fait de l'élargissement des exigences (demande de sécurité, impacts environnementaux, profusion de la normalisation ou des recommandations, interventions des usagers...).

Enfin, les incertitudes attachées aux prévisions climatiques à moyen terme (« global climate change ») imposent, dans une logique de prévention, de tenir compte de leurs effets prévisibles sur le comportement des sols et des ouvrages.

La maîtrise des risques s'inscrit donc dans une perspective globale, accompagnant la prise de conscience de la société (et du monde politique !) d'un besoin de développement durable assurant la protection de l'environnement, des biens et des individus avec une allocation optimale des ressources naturelles et financières. Elles obligent a contrario à définir clairement les risques acceptables par les maîtres d'ouvrages et la collectivité.

Enfin, le développement des nouvelles technologies (NTIC) et l'instantanéité de l'information qu'elles rendent possibles, modifie le rapport que chaque acteur entretient avec le risque et fournit des outils qui peuvent contribuer à une prévention plus efficaces des risques.

**PREOCCUPATIONS ET BESOINS SCIENTIFIQUES**

De la multiplication des sinistres coûteux consécutifs à des retraits-gonflements des sols argileux résulte des difficultés d'assurabilité des constructeurs et des bureaux d'études géotechniques, et la remise en cause du régime d'indemnisation CATNAT.

Des événements ayant pu apparaître exceptionnels et justifier de procédures CATNAT, s'inscrivent, de par leur répétition temporelle comme de par leur répartition géographique, « prévisibles », au moins au sens statistique du terme. Les sinistres relèvent peu de sols « viciés » mais plus de sols mal reconnus ou desquels on n'a pas su tirer les conclusions géotechniques et constructives qui s'imposaient.

Il semble donc essentiel de développer une méthodologie qui permette, dans une logique de prévention, à chacun des acteurs d'assumer une « juste part » du risque. Quels sont les critères qui permettent de dire qu'une sécheresse est « exceptionnelle », ou, au contraire, qu'une construction est « déficiente » ?

Le porter à connaissance du risque est un **lieu de contradiction** (en termes de coût et de responsabilité) entre les différents intérêts. Des questions telles que :

**Qui doit avoir la charge de l'étude de sol ?**

**Qui doit assumer la prévention des risques ?**

**Qui doit supporter les conséquences des risques mal ou non maîtrisés ?**

doivent recevoir des réponses adaptées.

Il est donc nécessaire, de dépasser la seule analyse des phénomènes physiques à l'œuvre (c'est-à-dire l'analyse des aléas), de préciser la logique de construction des risques, pour répondre à un besoin d'outils d'aide à la décision, conçus dans une perspective d'aide à l'aménagement, à l'échelle de la commune ou du quartier (qu'il s'agisse de zonage et de l'établissement de recommandations techniques en phase de projet, ou de remédiation pour le bâti existant soumis aux risques).

## PROGRAMME D'ACTION

L'action procèdera à une analyse pluridisciplinaire des risques attachés aux acteurs et à leurs modes d'organisation dans quelques situations représentatives par leur complexité et leurs enjeux. Il s'agira d'identifier :

- la façon dont chacun des acteurs se positionne par rapport aux risques (perception, acceptation, responsabilité),
- quels sont les degrés de liberté (techniques, réglementaires, économiques...) dont il dispose et les rapports de force qui s'établissent (sinistralité et conséquences économiques et sociales, jurisprudence),
- quels sont les facteurs constitutifs de la vulnérabilité aux différentes échelles (vulnérabilité des constructions, mais aussi du tissu urbain dans l'ensemble de ses composantes) et comment ces facteurs peuvent être appréciés,
- comment le risque global résulte de l'organisation (temporelle, économique, réglementaire) des acteurs et des opérations,
- par quelles voies ce risque peut être modifié, et les conséquences sur chacun des acteurs.

L'étude sera menée en conduisant un retour d'expérience sur des territoires géographiquement délimités, de façon à proposer une méthodologie adaptée de prise en compte des risques.

L'action pourra se décliner en trois phases.

*Première phase (risk analysis)*

- (a) identification des familles d'acteurs concernés et des personnes pouvant contribuer (dans le GIS ou à l'extérieur du GIS) à la démarche collective,

- (b) identification et analyse des points de vue portés par chacun des acteurs sur la question des risques : degré de connaissance, degré d'implication, manière dont ils perçoivent et supportent les risques, relations avec les autres acteurs et conséquences, enjeux aux différentes échelles de temps et d'espace...
- (c) recueil d'information sur les pratiques : réglementaires, techniques, juridiques...
- (d) recueil d'information sur la sinistralité : statistiques, étude de cas...
- (e) analyse de la sinistralité : identification des causes (naturelles, constructives...), mode de remédiation, jurisprudence...

*Deuxième phase (risk assessment)*

- (f) identification des typologies de problèmes représentatifs et des modes de traitement aux différentes échelles (de la parcelle au territoire, à court et long terme, de l'individu à la collectivité),
- (g) identifier la façon dont les procédures, textes, habitudes, jurisprudence, modes de passation de marché... influencent les points actuels d'équilibre du système et la création de situation dégradées,
- (h) identifier ce que chaque acteur a à gagner ou à perdre de modifications de la situation actuelle (des textes, des usages, des relations...) – identifier les difficultés et les verrous (techniques, scientifiques, économiques, psychologiques, juridiques, réglementaires...).

Cette phase pourrait accompagner la mise en place effective des prochains PPR « retrait-gonflement » des argiles, en aidant à identifier et à quantifier (en termes statistiques, économiques...) les enjeux et les contraintes relatives à telle ou telle prescription ou interdiction mentionné dans ces textes (en termes de zonage, de reconnaissance des sols, de disposition constructive, de modification des conditions hydrologiques...).

La notion de vulnérabilité pourrait être un concept central à cette étape : quels sont les moyens et les méthodes d'apprécier, au-delà des aléas liés au sol, la vulnérabilité aux différentes échelles, de la parcelle au territoire.

*Troisième phase (risk management)*

- (i) possibilité d'initiation d'une démarche pilote sur une aire géographique précise ou sur une opération d'aménagement particulière. L'évaluation de la vulnérabilité par des méthodes plus ou moins précises selon les enjeux pourrait enrichir la démarche, en évitant des réponses « surdimensionnées » par excès de précaution ou inadaptées par méconnaissance des risques.
- (j) établissement collectif des recommandations à caractère généraliste et des recommandations ciblées pour chaque famille d'acteur, ces recommandations pouvant, par exemple, servir de documents d'aide à la décision pour l'établissement des PPR,
- (k) diffusion de ces recommandations : rédaction du guide méthodologique, séminaires de sensibilisation et de formation (ciblés selon les acteurs visés)...

## ANNEXES 7. COMPOSITION DES ORGANES DIRECTEURS DU GIS

## ANNEXE 7A. CONSEIL SCIENTIFIQUE

**Experts extérieurs**

NOM	Prénom	Organisme
Sabourault	Philippe	Ministère de l'Ecologie
Moulin	Lionel	DRAST, Ministère de l'Équipement
Ramondenc	Philippe	SNCF, Direction de l'Ingénierie
Gérard	Bruno	Oxand
Clatot	Benoît	CNEPE-EDF
Ghoreychi	Mehdi	INERIS
Rilling	Jacques	CSTB
Colson	André	FNTP
Kert	Christian	Assemblée Nationale
Lépingle	François	Direction des Routes, Ministère de l'Équipement

**Animateurs des thèmes**

NOM	Prénom	Organisme
De Vanssay	Bernadette	Univ. Paris 5
Altier	Christian	SNCF
Harouimi	René	CNISF
Boissier	Daniel	Univ. Blaise Pascal
Masrouri	Farimah	ENSG-INPL Nancy
Melacca	Vincent-S.	SMABTP
Breyse	Denys	Univ. Bordeaux 1
Arnal	Claire	BRGM
Peyras	Laurent	Cemagref
Munier	Bertrand	ENSAM
Crémona	Christian	LCPC

## ANNEXE 7B. CONSEIL D'ADMINISTRATION

Responsables des établissements, ou leur représentant

- Le Bureau de Recherches Géologiques et Minières (B.R.G.M.), représenté par **M. Yves CARISTAN, Directeur Général,**
- Le Centre d'Etudes du Machinisme Agricole, du Génie Rural, des Eaux et Forêts (CEMAGREF), représenté par **M. Patrick LAVARDE, Directeur Général,**
- Le Centre d'Etudes et de Recherches de l'Industrie du Béton (CERIB), représenté par **M. Jean-Pierre ELGUEDJ, Directeur Général,**
- Le Conseil National des Ingénieurs et Scientifiques de France (CNISF), représenté par **M. Xavier KARCHER, Président du Conseil National des Ingénieurs et Scientifiques de France,**
- La société Coyne et Bellier, représentée par **M. Alain CARRERE, Directeur Scientifique,**
- La société Doris Engineering, représentée par **M. Dominique MICHEL, Président Directeur Général,**
- L'Ecole Nationale Supérieure des Arts et Métiers (ENSAM), représentée par **Mme Marie REYNIER, Directrice de l'ENSAM,**
- La Fédération Nationale des Travaux Publics (FNTP), représentée par **M. Daniel TARDY, Président,**
- L'Institut National Polytechnique de Lorraine (INPL), représenté par son Président, **M. Louis Schuffenecker,**
- Le Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC), représenté par **M. Jacques ROUDIER, Directeur Général,**
- La société Oxand, représentée par **M. Bruno GERARD, Directeur Général,**
- La société Sector, représentée par **M. Jean-François BARBET, Président Directeur Général,**
- La société Sites, représentée par **M. Jean-François SAGEAU, Directeur,**
- La Société Mutuelle d'Assurances du Bâtiment et des Travaux Publics, représentée par **M. Emmanuel EDOU, Directeur Général,**
- La SNCF, représentée par **M. Philippe RAMONDENC, responsable du Département des Ouvrages d'Art,**
- La société Socotec, représentée par **M. Hubert D'ARGOEUVES, Directeur Technique & Méthodes,**
- L'Université Blaise Pascal de Clermont-Ferrand, représentée par son **Président, M. Albert ODOUARD,**
- L'Université Bordeaux I, représentée par son **Président, M. Francis HARDOUIN,**
- L'Université de Nantes, représentée par son **Président, M. François RESCHE,**
- L'Université Paris 5, représentée par **M. le Professeur MOSER, Directeur du Laboratoire de Psychologie Environnementale,**
- L'Université de Marne la Vallée, représentée par son Président, **M. Yves LICHTENBERGER,**
- L'Université de Savoie, représentée par son Président, **M. Jean-Pierre PERROT,**
- L'Université de Versailles St Quentin, représentée par sa Présidente, **Mme Sylvie FAUCHEUX.**