

# Gestion du risque sismique orientée objectifs

Vincent Pellissier<sup>1</sup>, Dr. Pierre-André Jaccard<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de Constructions en béton, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse

<sup>2</sup>Institut de Logistique, Economie et Management, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, Suisse

**Résumé :** *La gestion du risque sismique dans un contexte systémique complexe peut être envisagée avec méthode. L'interaction entre les compétences d'ingénieur de structures, les méthodes de modélisation des pertes et les connaissances économiques ouvrent des perspectives exploitées dans cette étude. L'Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne, ci-après l'EPFL, développe actuellement un cadre permettant d'évaluer des stratégies de gestion du risque sismique sur la base d'un projet pilote, à savoir une petite ville des Alpes Suisses. On veut par cette recherche montrer aux décideurs comment peut se développer une base rationnelle de comparaison des différentes stratégies.*

## I. Objectifs

L'objectif est ici de développer une logique participative permettant la mise en place de mesures de mitigation du risque sismique appliquée à une ville pilote par l'établissement de règles de décision. Cette démarche permet d'éclairer les positions respectives des acteurs du processus décisionnel et, pratiquement, de définir des recommandations pour chacun d'entre eux sur les actions à entreprendre pour les différents types de bâtiments considérés.

La spécificité de cette approche réside dans la considération de la multiplicité des critères et la multiplicité des acteurs. Elle vise à fournir un cadre rationnel menant à la sélection de stratégies de gestion permettant d'envisager la mitigation du risque sismique. Le projet s'articule en deux parties principales. La première est l'estimation du risque sismique actuel [Pellissier 2003] et la deuxième porte sur la comparaison des stratégies. Cette étude se limite uniquement aux bâtiments.

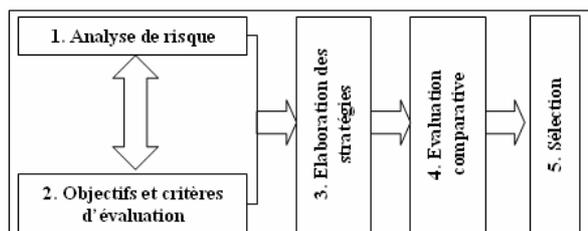
Une « stratégie de gestion du risque sismique » est un ensemble de mesures cohérentes qui ont un impact sur le profil de risque du système étudié. Les décideurs disposent d'un éventail de stratégies qu'ils peuvent mettre en oeuvre. Elles vont du statu quo jusqu'à des mesures visant l'ensemble du parc immobilier. Des mesures techniques, comme le renforcement ciblé de certaines constructions, par exemple les hôpitaux ou encore des ponts, sont considérées. Une autre approche peut faire appel à un transfert du risque économique au moyen d'assurances.

## II. Démarche de travail

### Objectives Based Management

Le concept d'*Objectives Based Management* (OBM) est défini, dans le domaine de la gestion du risque naturel en général et du risque sismique en particulier, comme la gestion participative de différents acteurs dans une approche multicritères permettant des choix (des actions) maximisant les attentes, c'est-à-dire les fonctions d'utilité, de chacun.

La notion de seuil est également développée pour garantir des principes fondamentaux comme la proportionnalité ou encore la précaution.



La structure de sélection imaginée vise à fournir une approche systématique menant au choix de stratégies pour la gestion du risque sismique.

**Fig. 1. Cadre de décision.**

Les différentes tâches permettant de développer des recommandations sont décrites schématiquement à la figure 1 [Pellissier et al. 2002] [Abrams 2002] [Kunreuther et al. 2003]. Sur la base d'un modèle d'estimation du risque [Pellissier 2003], le processus débute par la définition d'objectifs par les experts. Ceux-ci doivent être validés par des représentants des acteurs concernés par la problématique, dont le point de vue est exploité pour définir les critères de comparaison sélectionnés. Ils évaluent également dans quelle mesure les préférences seront atteintes.

### **Projet-pilote : Ville d'Aigle**

Une application à un projet pilote permet de valider les éléments théoriques développés et de tirer des enseignements généraux. Le modèle technico-économique est appliqué dans un premier temps à un bâtiment sismiquement vulnérable, puis à un portefeuille de bâtiments. La ville d'Aigle, au cœur des Alpes helvétiques, représente un support idéal de par sa sismicité moyenne et du fait de l'existence d'études préliminaires orientées risque sismique déjà effectuées, en particulier un inventaire de la vulnérabilité sismique du parc de bâtiments [Brennet et al. 2001] et de l'influence de l'effet de site [Duvernay et al. 2003]. De plus, Son bâti est représentatif de bien d'autres petites villes de Suisse, de même que son activité socio-économique.

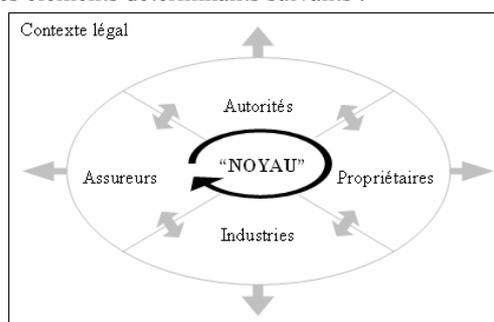
### **Stakeholders**

#### **a. Identification**

Les *Stakeholders* sont définis comme les personnes individuelles, par leurs représentants, et les groupements ou institutions impliqués dans le cas de la survenance d'un tremblement de terre dans une région, évoluant dans un contexte légal déterminé. Ces groupes s'articulent autour du corps de la recherche, ci-après appelé *Noyau*, pouvant interagir directement sur celui-ci, ou entre eux, et guidant le processus menant aux actions [Abrams et al. 2003]. Ces groupes représentent principalement les risques liés aux atteintes à la vie (morts et blessés), aux atteintes à la propriété (immobilière et mobilière) ou au revenu en cas d'un tremblement de terre, ainsi que les autorités impliquées dans la marche de la collectivité. Par la participation organisée de ces groupes de Stakeholders, les besoins de recherche sont coordonnés de sorte que tous

puissent partager des avantages et guider la recherche tant fondamentale qu'appliquée. On donne, de manière non exhaustive, une liste des Stakeholders considérés dans notre étude au tableau 1. On distingue quatre groupes principaux avec pour chacun, des sous-groupes. Cette liste a été établie en identifiant pour chacun les éléments déterminants suivants :

- Objectifs,
- préférences,
- critères d'analyse des actions,
- pouvoir décisionnel.



**Fig. 2. Interactions des Stakeholders.**

	<b>Domaines de compétence</b>	<b>Représentants</b>
<b>Assureurs</b>	- Choses (mobilières & immobilières)  - Vie - Perte de gains - Réassurance	- Etablissements Cantonaux d' Assurance (1) - Pool (2) - Assureurs-choses privés - Pool (3) - Assureurs-vie privés - Assureurs perte de gain privés - Réassureurs privés
<b>Autorités</b>	- Constructions en mains propres - Permis de construire, d'exploiter et d'habiter - Gestion de la crise (pré et post événement)	- Services ou offices communaux, cantonaux et fédéraux spécifiques - Protection et sécurité civiles (corps de pompiers, de polices, Protection civile,...) et militaires - Cellule de crise ad hoc
<b>Propriétaires</b>	- Immeubles et infrastructures  - Financement	- Particuliers - Entreprises - Communautés - Institutions de crédits hypothécaires - Fonds d'investissement
<b>Industries</b>	- Construction (application des Normes) - Renforcement (recherches techniques) - Transport (gestion des catastrophes, infrastructures) - Protection de l'environnement  - Valeur historique	- Formation (Hautes Ecoles) - Entreprises & milieu académique - Régies fédérales et transporteurs privés - Entreprises soumises à l'OPAM (4) - Organismes de protection de l'environnement - Organismes de protection du patrimoine

(1) 19 cantons (régions politiques) sur 26, en Suisse, ont un monopole pour cette activité d'assurance

(2) Pool suisse pour la couverture des dommages sismiques

(3) Pool des assureurs privés pour la couverture des dommages sismiques

(4) Ordonnance sur la protection contre les accidents majeurs

**Tab. 1. Identification des acteurs et de leurs représentants.**

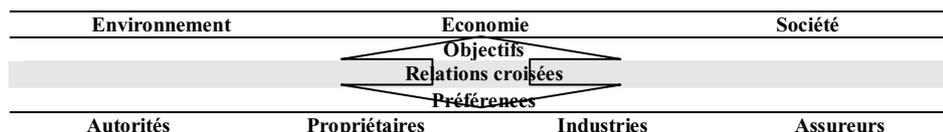
## b. Intérêts et motivations

La participation de tous les Stakeholders à la mise en place d'un outil d'aide à la décision favorise et renforce l'adoption de l'OBM. La recherche du noyau est coordonnée aux recherches spécifiques des différents Stakeholders afin de maximiser le potentiel et l'intérêt multiple. Ainsi, les recherches spécifiques des Stakeholders doivent s'intégrer dans le noyau, qui est prévu pour être générique. Les recherches spécifiques directement effectuées par les Stakeholders, ou de manière ciblée par les milieux académiques, viennent s'imbriquer dans le noyau de recherche. Par exemple, la dérivation des fonctions de vulnérabilité pour des typologies de bâtiments, comme les bâtiments en moellons traditionnels, ou encore le développement des outils d'analyse de l'efficacité (des impacts) des stratégies de mitigation doivent s'appliquer à n'importe quel type de structure, le cas échéant à n'importe quel système. Avec l'appui des groupes intéressés de Stakeholders, ces résultats génériques peuvent être extrapolés aux spécificités de chacun.

En dépit des différences, chaque groupe a quelque chose en commun avec les autres, qu'on nomme objectifs primaires, énoncés ci-après.

- Assurer leur propre pérennité, par là un impératif de sécurité (dont le niveau d'exigence varie au cours du temps évolue) existe comme base commune dont les autres objectifs découlent directement,
- être en mesure de synthétiser les dommages pour leurs systèmes particuliers à travers des régions spécifiques d'intérêt, et visualiser ainsi des conséquences d'un risque potentiel,
- être en mesure de déterminer les impacts de leurs actions dans le futur pour leurs systèmes propres.

Ces trois objectifs communs vont permettre de déterminer, en fonction des objectifs de chacun, la meilleure solution de gestion en terme d'utilité (moyens consacrés - gains espérés – atteinte des objectifs primaires). Ces motivations sont récapitulées dans le tableau 3 avec les intérêts spécifiques de chaque groupe de Stakeholders.



*Tab. 2. Relations croisées du système considéré.*

## c. Espace de la problématique

Les domaines de spécification des objectifs sont articulés dans un espace à trois axes dans lequel évoluent les Stakeholders : sociétal, économique et environnemental.

#### d. Détermination des critères d'évaluation

Les critères de choix sont classifiés selon cet espace dans le tableau 3 ci-dessous, en fonction des Stakeholders. On définit les objectifs prioritaires et les seuils d'acceptabilité pour chacun d'entre eux.

Domaine	Critères	Indicateurs retenus	Stakeholders			
			Assureurs	Autorités	Individus	Industrie
Economique	Financier	VAN (1)	x	x	x	x
	Investissement	ROI (2)		x		x
	Utilité	Cost-Benefit Analysis		x		x
	Risque de perte de gain	Delta (3)	x	x		x
	Risque immobilier	Delta	x	x	x	x
	Risque mobilier	Delta	x	x	x	x
Société	Vie	Cost-benefit		x	x	
	Vie	Delta	x	x	x	
	Valeur historique	Delta		x		
Environnement		Delta		x		x

(1) Valeur actuelle nette de l'action

(2) Return on Investment

(3) Delta = variation sur une échelle propre au critère spécifié

**Tab. 3. Critères d'évaluation.**

Ce processus est basé sur une considération top-down, individuellement par Stakeholder, qui représente la maximisation de la rentabilité et de l'utilité espérée, partant des objectifs primaires, sur un arbre logique. Une subdivision est faite entre les acteurs publics (acceptabilité collective) et les acteurs privés (acceptabilité privée), comme dans [Kunreuther et al. 2003].

#### Temporalité

Sur l'échelle temporelle, on entre en conflit entre les horizons de planification des différents Stakeholders, le caractère dynamique de la situation du parc immobilier considéré (le taux de remplacement annuel des bâtiments en Suisse est estimé entre 1 et 2%), l'évolution des normes de construction (les premières considérations normatives pour la problématique sismique sont apparues en Suisse en 1970, et mise à jour dans les deux évolutions de normes de la Société Suisse des Ingénieurs et Architectes de 1989 et 2003 [SWISSCODE 2003], ou encore la survenance ou la non survenance d'un événement sismique d'une intensité donnée sur la période de planification.

Deux périodes de 50 ans ont été considérées pour atteindre la sécurité cible (qui peut différer selon les acteurs [Rehn 1995]) pour les éléments exposés au risque sismique (qui peuvent également différer : par exemple les normes visent à préserver la vie, alors que les

instituts de crédit hypothécaire ne protègent pas leur valeur immobilière par l'application de ces mêmes normes).

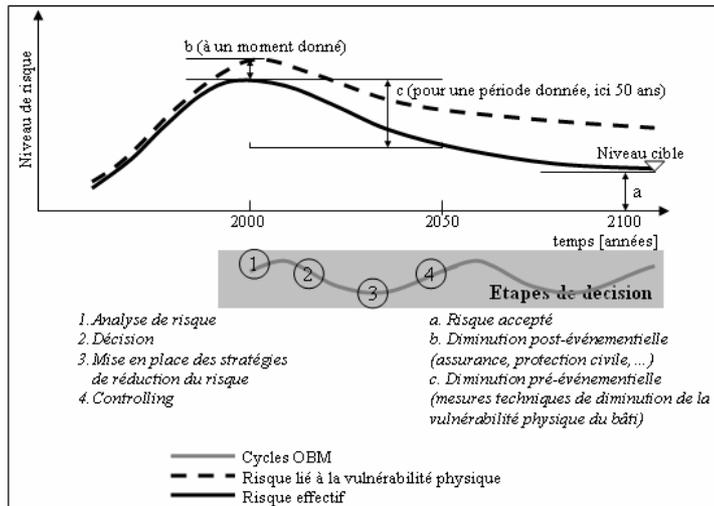


Fig. 5. Evolution du niveau de sécurité au cours du temps.

On montre à la figure 5 l'axe du temps avec l'évolution du niveau de risque en fonction des cycles de **décision – mesures – contrôle** mises en place.

Le niveau de risque est influencé par les variations des valeurs exposées au risque ainsi que par l'évolution de la vulnérabilité du système étudié, alors que l'aléa (régionale et local) est lui invariant.

### III. Phases de travail

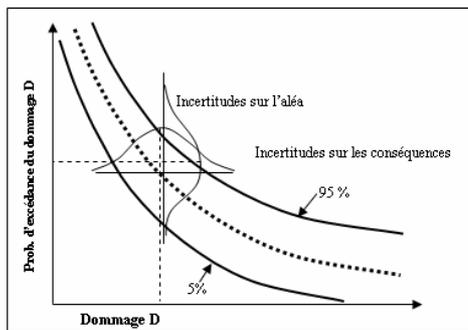
La recherche au sein du noyau a été divisée en deux parties distinctes. La première a permis de développer un modèle d'estimation du risque sismique pour l'ensemble du parc immobilier de la ville d'Aigle. La deuxième partie permet de simuler la mise en application de différentes stratégies de gestion du risque et de les comparer.

#### 1ère Partie - Modèle d'estimation du risque

Un modèle d'estimation a été développé à cette fin avec les informations de base portant sur les paramètres constitutifs suivants :

- **La vulnérabilité** [Brennet et al. 2001].
- **L'aléa** [Duvernay et al. 2003].
- **Les valeurs exposées au risque.** Il a été pris en considération les personnes (vie humaine) pouvant subir potentiellement une perte ainsi que la valeur des immeubles et du mobilier assurés.

Pour estimer les pertes consécutives aux dommages affectant les bâtiments, des courbes « d'endommagement » ont été générées. Elles décrivent la relation entre le degré de dommage des bâtiments et la perte de valeur.



**Fig. 6. Courbe d'excédance de probabilité de dommage.**

Les pertes potentielles ont ensuite été estimées pour des événements sismiques de différentes intensités permettant de construire la courbe d'excédance de probabilité de dommage pour la ville. Cette courbe est schématisée à la figure 6 ci-dessous. Le risque est ensuite estimé de manière probabiliste en combinant les scénarios avec les périodes de retour, tout en considérant les incertitudes sur les paramètres constitutifs du modèle.

## 2ème partie - Comparaison des stratégies de gestion du risque

On passe ici en revue les points abordés dans la deuxième partie de la recherche développée dans le noyau.

### a. Définition des stratégies de gestion et impacts sur les critères

Un catalogage des différentes stratégies à disposition des décideurs est nécessaire. Il comprend les impacts (efficacité) et le coût des mesures à disposition en fonction des critères discutés plus haut.

### b. Cadre de décision orienté objectifs

Pour informer les éléments prioritaires, on cherche à comparer les risques, en les groupant, dans de larges catégories de conséquences (gravité) et en identifiant ainsi les populations potentiellement en danger dans un contexte d'incertitude. Pour ce faire on utilise des matrices de risque classiques.

### c. Outils d'aide à la décision

L'aide multicritère à la décision vise, à fournir à un décideur des outils lui permettant de progresser dans la résolution d'un problème de décision où plusieurs points de vue, souvent contradictoires, doivent être pris en compte. La première des constatations qui doit être faite, lorsqu'on aborde un tel problème, est qu'il n'existe pas, en général, une décision (stratégie, solution, action,...) qui soit la meilleure simultanément pour tous les points de vue.. Dans notre étude, des méthodes de surclassement sont appliquées et montrent des résultats intéressants [Vincke 1989] [Roy 1985].

#### IV. Conclusions

Cette recherche vise à établir des priorités dans la mise en application de mesures de mitigation du risque sismique. Pour cela, on tient compte de la gestion appropriée et des considérations sociales [Kunreuther 2001] telles que : la faisabilité de réduire ou d'éviter des risques, la qualité de la vie, le développement durable et l'importance et la distribution des avantages à court et à long terme et, bien évidemment des coûts. L'établissement des priorités est effectué par des experts et un large éventail d'individus, représentants des autorités ou des organisations non gouvernementales, de l'industrie, des milieux académiques, des propriétaires, des assureurs ainsi que le public dans son ensemble. Dans la mesure du possible, des vues de consensus devraient être reflétées dans l'établissement des priorités. On donne ainsi aux décideurs le cadre rationnel menant aux choix des actions les plus appropriées.

#### Références

- Abrams (2003) Abrams D.P., Elnashai A.S., Beavers J.E., *A New Engineering Paradigm : Consequence-Based Management*, Mid-America Earthquake Center, Urbana-Champaign, Illinois, USA.
- Abrams (2002) Abrams D.P., *Risk Management Frameworks*, MAEC Newsletter, Vol. 5 No. 2, Urbana, USA.
- Brennet (2001) Brennet G., Peter K., Badoux M., *Inventaire sismique de la ville d'Aigle*, Mandat ECA, Pully, Switzerland.
- Duvernay (2003) Duvernay B., Widmer F., Pellissier V., *Mesures in situ des fréquences de bâtiments et de sites "free field"*, 6th Ziegler Symposium, Dübendorf, Switzerland.
- Kunreuther (2001) Kunreuther H., *Comment se protéger contre le coût des catastrophes*, Les Echos, 4, Paris, France.
- Kunreuther (2003) Kunreuther H., Grossi P., Seeber N., Smyth A., *A Framework for Evaluating the Cost-Effectiveness of Mitigation Measures*, Columbia University.
- Pellissier (2002) Pellissier V., Jaccard P.A., Badoux M., *Decision Framework for Seismic Risk Management*, 12th European Conference on Earthquake Engineering, London, UK.
- Pellissier (2003) Pellissier V., Badoux M., *Estimation du risque sismique de la ville d'Aigle*, Mandat ECA, Pully, Switzerland.
- Rehn (1995) Renn O., *Individual and social perception of risk*, Ökologisches Handeln als sozialer Prozess. Themenheft SPP, Basel, Switzerland.
- Roy (1985) Bernard Roy. *Méthodologie Multicritère d'Aide à la Décision*, Ed. Economica, Paris, France.
- SWISSCODE (2003) Société Suisse des IngénieurS et Architectes, *Normes de Structures 260 et ss*, éd. 2003, SIA, Zürich, Switzerland.
- Vincke (1989) Vincke P., *Aide Multicritère à la Décision*, Ed. de l'Université de Bruxelles, Bruxelles, Belgique.