

## **Annexes :**

## Table des annexes :

A.	GLOSSAIRE : .....	4
B.	LES TEXTES DE LOI. ....	7
	• <i>Loi n°82-600 du 13 juillet 1982, relative à l'indemnisation des victimes de catastrophes naturelles, modifiée par la loi n°95-101 du 2 février 1995.</i> .....	8
	• <i>Loi n°87-565 du 22 juillet 1987, relative à la sécurité civile, à la protection de la forêt contre l'incendie et à la prévention des risques majeurs.</i> .....	9
	• <i>Circulaire n°9265 du 21 avril 1994 relative à l'information préventive.</i> .....	11
	• <i>Loi n°95-101 du 2 février 1995, relative au renforcement de la protection de l'environnement.</i> .....	12
	• <i>Loi n°2003-699 du 30 juillet 2003, relative à la prévention des risques technologiques et naturels.</i> .....	13
	• <i>Décret n° 2005-3 du 4 janvier 2005 modifiant le décret n° 95-1089 du 5 octobre 1995 relatif aux plans de prévention des risques naturels prévisibles.</i> .....	14
C.	LES TEXTES SCIENTIFIQUES ET TECHNIQUES. ....	15
	• <i>Felts D. <b>Vulnérabilité des réseaux urbains et gestion de crise : exemple de l'inondation de mars 2001 à Lyon et Mâcon.</b> Lyon : CERTU, 2002, 78 pages.</i> 16	
	• <i>Prost T, <b>Le risque, Frontière du génie urbain : identification et organisation des connaissances utiles pour l'aide à la décision dans les réseaux techniques urbains (eau potable et assainissement),</b> Thèse de doctorat Conception en bâtiment et techniques urbaines, Lyon : INSA de Lyon, 1999, 202 pages.</i> .....	21
	• <i><b>Risques et périls, Les annales de la recherche urbaine : N° 40, Paris, novembre-décembre 1988, 128 pages.</b></i> .....	25
	• <i>Menoni S., <b>Chains of damages and failures in a metropolitan environment : some observations on the Kobe earthquake in 1995,</b> Journal of Hazardous Materials 86, 2001, p101-119</i> .....	28
	• <i>Ministère de l'écologie et du développement durable, <b>Réduire la vulnérabilité des réseaux urbains aux inondations.</b> CERTU/CETE. Début 2006. 111 pages .</i> .....	30
	• <i>Verdel T., <b>Méthodologie d'évaluation globale des risques : Applications potentielles au Génie Civil.</b> Novembre 2000, Paris, colloque « Risque et génie civil » p23-38.</i> .....	32
	• <i>Hall J., Meadowcroft I., Sayers P., Bramley M., <b>Integrated flood risk management in England and Wales,</b> Natural Hazards Review, Vol 4, N 3, Aout 2003, pp126-135.</i> .....	32
	• <i>Bisso M. et al., <b>A rapid method to assess fire-related debris flows hazard in the Mediterranean region : As example from Sicily (southern Italy) ,</b> International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 2005, Vol7, pp 217-231.</i> .....	32
	• <i>Pasuto A. and Soldati M., <b>An integrated approach for hazards assessment and mitigation of debris flows in the Italian Dolomites,</b> Geomorphology 2004, Vol61, pp 59-70.</i> .....	32
	• <i>Ayalew L. et al., <b>Landslides in Sado Island of Japan: PartII. GIS-based susceptibility mapping with comparisons of results from two methods and verifications,</b> Engineering Geology 2005, Vol81, No 4, pp 432-445.</i> .....	32
	• <i>Lambert H. et al., <b>Tracking the Complexity of Interactions between Risk Incidents and Engineering Systems,</b> Syst. Eng, 2005, Vol8, pp 262-276.</i> .....	32

- *Lambert H. et al., Terrorism Scenario Identification by Superposition of Infrastructure Network, Syst. Eng., 2005, Vol8, pp 211-220..... 32*
- *Bret et al., Deposit related to degradation processes on Piton Neiges Volcano (Reunion Island): overview and geological hazard, Journal of volcanology and geothermal research, 2002, Vol123, pp 25-41..... 32*
- *Blancher P., Risques et réseaux techniques urbains, Centre d'Etude sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques (CERTU), 1998..... 32*
- *Torres-Vera M. A. et Canas J. A, A lifeline vulnerability study in Barcelona, Reliability Engineering and System Safety, 2002, 205-210 ..... 32*
- *Sevtap Selçuk A. and Semih Yüccemen M., Reliability of lifelines networks under seismic hazard , Reliability Engineering and System Safety, 1999, Vol65, pp 213-227..... 32*
- *Haimes Y. et al., Virginia's Critical Infrastructure Protection: A Statewide risk assessment study, IEE Systems and Information Design Symposium, 2002, pp 175-180..... 32*
- *Schneider P., Schauer B., HAZUS- its development and its future, Natural Hazard Review, vol 7, No 2, Mai 2006, pp 40-44. .... 32*
- *Sohn J. et al, Retrofit Priority of network links under an earthquake, J. Urban planning & development, Vol 129, no 4, december 2003, pp 195-210..... 32*
- *Chang S, Shinozuka M, Life-cycle cost analysis with natural hazard risk, Journal of infrastructure systems, Vol2, No3, september 1996, pp 118-126..... 32*
- *Shimizu Y, Yamazaki F, et al, Development of real-time safety control system for urban gas supply network, Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering, Vol 132, No 2, fevrier 2006, pp 237-249..... 32*
- *Menoni S et al, Lifelines earthquake vulnerability assessment: a systemic approach, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, vol 22, 2002, p 1199-1208..... 32*
- *Chang S, Nojima N, Measuring post-disaster transportation system performance: the 1995 Kobe earthquake in comparative perspective. Transportation Research Part A: Policy and Practice, Volume 35, Issue 6, July 2001, Pages 475-494..... 32*
- *Chang S, Evaluating disaster mitigations : methodology for urban infrastructure systems, Natural Hazard Review, November 2003, Vol4, No4, pp186-196..... 32*
- *Grigg N., Water utility security : multiple hazards and multiple barriers, Journal of infrastructure systems, juin 2003, Vol9, No2, pp 80-88. .... 32*
- *Hoshiya M., Yamamoto K., Redundancy index of lifeline systems, journal of engineering mechanics, Vol 128, No 9, september 2002, pp 961-968..... 32*
- *Hoshiya M., Yamamoto K., Haruo O., Redundancy index of lifelines for mitigation measures against seismic risk. Probabilistic Engineering Mechanics, 2004, vol.19, pages 205-206. .... 32*
- *Yao B., Xie L., Huo EJ., A comprehensive study method for lifeline system interaction under seismic conditions, Acta seismologica sinica, Vol 17, No 2, mars 2004, pp 211-221..... 32*
- *Jacobson A., A methodology to assess seismic performance of water supply systems, In: Student research accomplishments 2003-2004, edited by Bonneau A., 2004, disponible sur: < <http://mceer.buffalo.edu/publications/resaccom/04-sp06/>>..... 32*

- *Baddiley P., The flood risk in Cairns, Natural Hazards, 2003, Vol30, pp 155-164* ..... 32
- *Grünthal G. et al., Comparative risk assessment for the city of Cologne- Storms, Floods, Earthquakes, Natural Hazards, 2006, Vol38, pp 21-44.....* 32
- *Crowther K., Haines Y., Application of the Inoperability Input-Output Model (IIM) for Systemic Risk Assessment and Management of Interdependent Infrastructures, Systems Engineering, 2005, Vol8, pp 323-341. ....* 32
- *Oliveri E. et Santoro M., Estimation of urban structural flood damages : the case study of Palermo, Urban Water, 2000, Vol2, pp 223-234.....* 32

TABLE DES FIGURES : ..... 32

## A. Glossaire :

**Affermage:** mode de gestion par lequel une autorité publique confie à un délégataire, appelé fermier, le soin d'exploiter à ses risques et périls un équipement déjà construit, en se rémunérant directement auprès des usagers. Les travaux courants d'entretien sont à la charge du fermier. Les travaux de renouvellement sont partagés entre la collectivité et le fermier. Les extensions de réseaux sont à la charge de la collectivité seule.

**Aléa :** hazard

**Arrêté de catastrophe naturelle :** arrêté interministériel, publié au Journal Officiel, qui reconnaît l'état de catastrophe dans une ou plusieurs communes. En application de la loi du 13 juillet 1982 relative à l'indemnisation des victimes des catastrophes naturelles, cet arrêté est obligatoire pour que les conséquences d'une catastrophe soient prises en charge par les assureurs.

**Bedding:** orientation of individual layers

**Breccia** is formed in a very similar fashion to conglomerate. The difference between the two rocks is that breccia's rock fragments are very sharp and angular. These rock fragments have not been transported by water, wind, or glaciers long enough to be rounded and smoothed like in the conglomerate. The cementing agents silica, calcite (CaCO<sub>3</sub>), and iron oxides are the same as in conglomerate.

**Caractérisation du risque :** PxG probabilité d'apparition d'un accident / gravité de ses conséquences. Permet de déterminer le seuil d'acceptabilité du risque.[page 62]

**CARIP :** cellule d'analyse des risques et information préventive : constituée dans chaque département, elle est placée sous l'autorité du préfet et regroupe les principaux acteurs départementaux du risque majeur et de la sécurité civile (représentants des services de l'état, industriels, relais d'opinion, collectivités locales, médias, services médicaux et sociaux, associations de protection de l'environnement...). Elle a pour objet de recueillir des informations, de coordonner les actions et de faciliter la diffusion de l'information préventive des populations.

**Chaos :** Catastrophe survenant qui laisse obsolètes les systèmes d'électricité, de téléphone, induit au pillage, en plus de produire des pertes humaines.

**Concession :** Mode de gestion dans lequel le délégataire est appelé à construire un équipement et à l'exploiter à ses risques et périls moyennant une redevance perçue auprès des usagers. A la fin de la période de concession, les équipements deviennent la propriété de la collectivité.

**Creep :** Small landslide

**Crise :** lors de l'événement d'un risque il est possible d'y faire face grâce à des moyens départementaux, pour rassurer, protéger et secourir. Situation temporelle soudaine pour maintenir le calme.

**Cycles:** A series of observations with periodic repetition used in statistical process to determine the risks in a system.

**DCS :** document communal synthétique : établi par le préfet à partir du DDRM, pour chaque commune du département, ce document recense les zones à risque de la commune et informe sur les actions de prévention qui ont été menées sur le territoire communal. Il est consultable en mairie par tous les citoyens.

**DDRM :** dossier départemental des risques majeurs : document établi par le préfet et regroupant toutes les informations sur les risques naturels et technologiques et recensant ceux auxquels sont soumises les communes du département. Ce dossier est destiné aux responsables et acteurs du risque majeur du département. Il est consultable en mairie par tous les citoyens.

**DICRIM :** document d'information communal sur les risques majeurs : réalisé par le maire, à partir du DCS, il a un objectif d'information préventive de la population sur les risques auxquels est soumise la commune et sur les mesures prises pour les prévenir. Il est consultable en mairie par tous les citoyens.

**Enjeux** : personnes, biens, activités, moyens, patrimoine, environnement menacés par un ou plusieurs risques et susceptibles de subir des préjudices et des dommages.

**Galerie technique visible** : Est une construction souterraine acheminant divers fluides au moyen d'une ou plusieurs conduites représentant différents niveaux hiérarchiques de distributions, et dans laquelle sont aménagés un ou plusieurs couloirs de service.

**Gérer** : prévoir, et donc anticiper, ce qui implique aussi de suivre l'évolution, les modifications intervenant, sur le système ou sur son environnement au cours du temps.

**Gestion en régie** : système par lequel une autorité, chargée d'assurer un service public, en assure elle-même la gestion (construction des équipements, fonctionnement, entretien).

**Gestion déléguée** : la délégation de service public (DSP) est un contrat ayant pour objet de confier une activité de service public à une entreprise extérieure qui aura en charge le fonctionnement des équipements contre une redevance perçue auprès des usagers. La gestion déléguée est confiée à l'entreprise extérieure pour une durée déterminée.

**Hazard** : aléa

**Interaction entropy** : measures of the complexity in a set of interactions of the interest.

**Lahar** : is an Indonesian term that describes a hot or cold mixture of water and rock fragments flowing down the slopes of a volcano and (or) river valleys. When moving, a lahar looks like a mass of wet concrete that carries rock debris ranging in size from clay to boulders more than 10 m in diameter.

**Landslide hazard mapping** : the quantitative prediction of the spatial distribution of both landslide deposits and slopes which are likely to be sites of failures. The landslide hazard or susceptibility mapping have the purpose to highlight the regional distribution of potentially unstable slopes based on a detailed study of the factors responsible for landsliding.

**Loi du 13 juillet 1982** : elle met en place un système d'indemnisation des catastrophes naturelles.

**Loi du 22 juillet 1987 (modifiée par la loi du 2 février 1995)** : elle met en place les plans de prévention des risques naturels (PPR). Elle prévoit également que tout citoyen a droit à l'information sur les risques auxquels il est soumis, ainsi que sur les moyens de s'en protéger.

**Mitigation** : mesure pour diminuer la vulnérabilité.

**Outliner** : An observed characteristic of a engineering system constituting a significant change on the system.

**PER** : plan d'exposition aux risques naturels prévisibles : institué par le décret d'application du 3 mai 1984 de la loi d'indemnisation des catastrophes naturelles, il visait l'interdiction de nouvelles constructions dans les zones les plus exposées d'une part, et des prescriptions spéciales pour les constructions nouvelles autorisées dans les zones moins exposées, associées à la prescription de travaux pour réduire la vulnérabilité du bâti existant, d'autre part.

**Plan ORSEC** : plan d'organisation des secours qui prévoit une organisation planifiée des périodes de crise.

**PPR** : plan de prévention des risques : document réalisé par l'état, qui réglemente l'utilisation des sols en fonction des risques naturels auxquels ils sont soumis. Cette réglementation va de l'interdiction de construire à la possibilité de construire sous certaines conditions. Institué par la loi du 2 février 1995 et son décret d'application du 5 octobre 1995, le PPR se substitue aux documents antérieurs tels que les PER, PSS, périmètres de l'article R 111-3 du Code de l'Urbanisme, et des plans des zones sensibles aux incendies de forêt (PSZIF), ce qui simplifie et clarifie la réglementation en la matière.

**Réseaux visitables** : Différents systèmes facilitant l'exploitation, l'entretien, la réparation... ou le renforcement de l'un des réseaux avec le minimum de dégradation ou de gêne apporté aux autres réseaux.

**Risque majeur** : risque caractérisé par une faible fréquence et une énorme gravité (nombreuses victimes, dommages importants aux biens et à l'environnement).

**Risque** : risk

**Territoire** : Espace enveloppe d'un phénomène physique potentiel (« territoire de risque »)

Tesina : Modelo para el estudio de la vulnerabilidad de los servicios técnicos urbanos frente a los riesgos naturales

Espace au sein duquel s'exercent des prérogatives et des compétences ; généralement à caractère juridique (commune, département,...)

Espace au sein duquel s'observent des activités sociales jugées plus ou moins caractéristiques d'un lieu.

**Urgence** : lors de l'événement d'un risque il est possible de le faire passer grâce à des moyens locaux (inondations des caves qui suit quelques fois à des orages méridionaux).

**Vulnerabilit :** vulnerability

***B. Les textes de loi.***



**Loi n°82-600 du 13 juillet 1982, relative à l'indemnisation des victimes de catastrophes naturelles, modifiée par la loi n°95-101 du 2 février 1995.**

Commentaires : Cette loi comporte des précisions sur l'indemnisation des victimes de catastrophes naturelles, notamment les obligations des compagnies d'assurance. La particularité de cette loi est le droit à un congé pour aider les secours dans une zone touchée par une catastrophe naturelle.

Les articles modifiés ou abrogés par la loi n°95-101 du 2 février 1995 ne sont pas présentés.

Cette loi précise les conditions d'indemnisation en cas de catastrophe naturelle.

Tous les particuliers étant assurés contre les dommages liés à un incendie ou tout autre dommage, contre les pertes d'exploitation, sont automatiquement indemnisés en cas de catastrophe naturelle constatée par arrêté interministériel contre les dommages matériels directs.

Les dommages causés aux récoltes non engrangées, aux sols, bétails...restent endommagés selon la loi du 10 juillet 1964.

Le versements des indemnisations doit avoir lieu dans un délai de trois mois à compter de la remise de l'état des biens endommagés.

Une personne résidant dans une zone touchée par une catastrophe naturelle peut prendre un congé non rémunéré de 20 jours pour participer aux activités d'aide aux victimes.

## **Loi n°87-565 du 22 juillet 1987, relative à la sécurité civile, à la protection de la forêt contre l'incendie et à la prévention des risques majeurs.**

Commentaire : Cette loi définit les modalités d'intervention des secours lors d'une crise, prévoit une adaptation de l'urbanisation en fonction des risques et donne le droit aux habitants d'une commune de connaître les risques auxquels ils peuvent être confrontés. Cette loi ne spécifie cependant pas les modalités d'adaptation de l'urbanisation, ni comment les citoyens ont accès aux informations sur les risques.

### **Titre 1<sup>er</sup> : Organisation de la sécurité civile ;**

La sécurité civile a pour but la prévention des risques de toute nature ainsi que la protection des personnes, des biens et de l'environnement. Ce titre prévoit la préparation des mesures de sauvegarde et la mise en œuvre des moyens nécessaires. Les conditions de mise en œuvre sont déterminées par le plan Orsec et les plans d'urgence.

#### *Chap1 : préparation et organisation des secours.*

Les plans Orsec peuvent être de trois natures différentes : plan Orsec nationaux, plan Orsec de zone ou plan Orsec départementaux.

Les plans d'urgence prévoient les mesures à prendre et les moyens de secours pour faire face aux risques liés à un site ou à une installation particulière. Ces plans comprennent les plans particuliers d'intervention (PPI), les plans destinés à porter secours à de nombreuses victimes, les plans de secours pour un risque défini.

Les PPI sont préparés par le représentant de l'Etat dans le département après avis des maires et des exploitants.

La direction des opérations de secours relève de la police. En cas de déclenchement du plan Orsec ou d'un plan d'urgence, les opérations de secours sont placées sous l'autorité du représentant de l'Etat dans chaque département.

Le plan Orsec national est déclenché par le Premier Ministre, le plan Orsec départemental est déclenché par le représentant de l'Etat dans le département.

Après avis du SDIS, le représentant de l'Etat dans le département établit un schéma directeur de formation du personnel et de préparation des moyens de secours.

Des réquisitions de moyens privés peuvent avoir lieu par les représentants de l'Etat en cas de plan Orsec ou de PPI. Selon les circonstances de la réquisition et les dommages causés aux propriétaires des moyens réquisitionnés, des dédommagements sont prévus par la loi.

#### *Chap2 : disposition relatives aux services d'incendie et de secours.*

Ce chapitre donne les fonctions des sapeurs pompiers, en particulier des sapeurs pompiers non professionnels, et précise que le service d'incendie et de secours est chargé des secours aux victimes d'accidents sur la voie publique ou consécutif à un sinistre représentant un risque particulier, et de leur évacuation.

### **Titre 2 : protection de la forêt contre l'incendie et prévention des risques majeurs.**

#### *Chap1 : information*

Les citoyens ont droit à l'information sur les risques technologiques et naturels prévisibles auxquels ils sont exposés et sur les mesures de sauvegarde associées. L'exploitant d'installations dangereuses est tenu de participer à l'information du public concerné.

#### *Chap2 : maîtrise de l'urbanisation*

Ce chapitre change certains articles du Code de l'Urbanisme afin de l'adapter aux différents risques, naturels et technologiques, qui peuvent exister dans un territoire communal. Il n'est pas précisé de quelle manière l'urbanisation doit s'adapter aux risques. En cas de risques technologiques liés à l'implantation d'une installation, il est possible d'instituer des servitudes d'utilité publique.

*Chap3 : défense de la forêt contre l'incendie.*

Ce chapitre stipule que la déclaration d'utilité publique vaut autorisation de défrichage et que dans la zone d'utilité publique il est possible de mettre les propriétaires en demeure de réaliser une mise en valeur agricole. Il indique les gestions possibles des espaces forestiers et les peines encourus pour le déclenchement d'un feu de forêt, volontaire ou non.

*Chap4 : prévention des risques naturels.*

La loi précise que pour les zones sismiques et cycloniques, les intensités à prendre en compte et les installations à sauvegarder sont définies par décret.

En cas de sécheresse grave, les réserves hydrauliques réservées à des exploitants peuvent être utilisées par la population sans qu'il n'y ait de dédommagement ou de indemnité.

*Chap5 : Prévention des risques technologiques.*

Ce chapitre fixe que pour la mise en place d'une installation potentiellement dangereuse, une étude de danger peut être demandée à l'exploitant avant délivrance d'une autorisation de construction. Si les impacts financiers d'une catastrophe ne peuvent être soutenus par l'entreprise, une garantie peut être demandée.

Différents articles de loi antérieures sont également modifiées afin de prendre en compte les risques liés aux installations technologiques.

### **Circulaire n°9265 du 21 avril 1994 relative à l'information préventive.**

Commentaire : Cette circulaire donne les modalités de l'information du public, en faisant une obligation et en précisant le champs d'action des administrations de l'Etat, de la préfecture et des communes.

En réalisant un état des lieux de l'application du décret d'application du 11 octobre 1990 de la loi du 22 juillet 1987, il apparut que seules deux communes avaient établies des informations préventives sur les risques majeurs présents sur leurs communes.

#### **Ainsi un programme a été établi pour faciliter l'information des communes :**

- Constituer une cellule d'analyse des risques et d'information préventive (CARIP) qui réunit tous les partenaires départementaux des risques pour recueillir les informations et coordonner les actions. Elle est composée des administrations d'Etat (DIREN, DRIRE...), du préfet, des élus, pompiers et services techniques, des services médicaux, des industriels... Ces membres sont nommés par le préfet. Le but du CARIP est d'élaborer le DDRM et le DCS.
- Elaborer un dossier départemental des risques majeurs (DDRM) ouvrage de sensibilisation destiné à être largement diffusé pour informer les acteurs départementaux sur les aléas.
- Le préfet réalise un dossier communal synthétique (DCS), composé d'extraits du DDRM relatif à la commune.
- Notifier ce DCS à chaque maire par arrêté préfectoral puis chaque maire doit effectuer son DICRIM, dossier d'information communal sur les risques majeurs, et le communiquer largement, entre autre par affichage. Le DICRIM doit également comporter les mesures de protections et de préventions prises par la commune.

Les communes visées par l'information préventive sont celles qui comportent des enjeux humains.

Ce sont soit des communes pour lesquelles il existe un document spécifique local, soit des communes définies par un texte national ou départemental, soit des communes désignées par arrêté préfectoral en raison de leur exposition aux risques.

La circulaire comprend également différents éléments pour faciliter la communication auprès des citoyens.

## **Loi n°95-101 du 2 février 1995, relative au renforcement de la protection de l'environnement.**

Commentaire : Cette loi introduit les PPR (Plan de Prévention des Risques) en donnant les champs d'action des acteurs et les servitudes introduites. Elle est la base de la prévention en France.

### **Titre 2 : Dispositions relatives à la prévention des risques naturels.**

#### *Chap1 : mesure de sauvegarde des populations,*

abrogés et remplacés par les articles L561-1 à L561-5 du code de l'environnement.

#### *Chap2 : des plans de prévention des risques naturels prévisibles*

Ce chapitre modifie la loi du 22 juillet 1987

Sont insérés des articles concernant l'instauration de plans de prévention des risques. Ces plans de prévention (PPRN) concernent les inondations, les mouvements de terrain, les avalanches, les incendies de forêt, les séismes, les éruptions volcaniques, les tempêtes et les cyclones.

Les PPR sont mis en place à la demande du préfet qui délimite le périmètre mis à l'étude, la nature des risques et le service chargé d'instruire ce PPR.

Les PPRN ont pour objet de délimiter les zones exposées aux risques et en fonction de la nature et de l'intensité du risque de définir les interdictions d'implantation ou les restrictions à prendre. Ils délimitent également les zones dans lesquelles certaines installations pourraient être facteur d'aggravations en cas de crise afin d'en interdire l'implantation ou de la limiter. Des mesures de prévention, de protection et de sauvegarde doivent être prises dans ces deux zones ainsi que des mesures de restrictions constructives, éventuellement des mesures de construction parasismique ou paracyclonique. Celles-ci peuvent être rendues opposables aux tiers en cas de besoins.

Une fois approuvé, le PPRN vaut servitude d'utilité publique. Si les zones ne sont pas respectées, la loi prévoit diverses sanction en fonction des infractions commises.

Certains plans d'expositions (aux risques naturels prévisibles et de zones sensibles aux incendie de forêt) valent les PPRN.

Il est également précisé que des mesures doivent être prises afin d'assurer le libre écoulement des eaux et la conservation, la restauration ou l'extension des champs d'inondation dans les zones concernées par le PPR inondation.

**Loi n°2003-699 du 30 juillet 2003, relative à la prévention des risques technologiques et naturels.**

Commentaire : Cette loi comporte deux grands volets : la partie risques technologiques et la partie risques naturels, qui nous concerne particulièrement. Elle précise la fréquence de l'information communale et concerne particulièrement certaines mesures pouvant être prise sur zones inondables et la recherche de cavité souterraine. Cette loi est plutôt à caractère technique, mais insiste également sur l'importance de l'information. En effet, les lois précédentes n'étaient pas particulièrement appliquées en ce qui concerne le volet « information ».

En complément de la loi n°95-101 du 2 février 1995, relative au renforcement de la protection de l'environnement, la loi de 2003 apporte plusieurs éléments nouveaux :

- Le maire doit informer la population au moins une fois tous les deux ans sur les risques naturels présents dans la commune ainsi que sur les mesures de prévention à adopter.
- De nouvelles servitudes, notamment quant aux inondations, de type « mobilité du cours d'eau » et de « stockage temporaire des crues » ainsi que la mise en œuvre de nouvelles pratiques d'agriculture pour lutter contre l'érosion des sols. L'Etat est chargé de la surveillance, de la prévision et de la transmission de l'information sur les crues.
- Les communes doivent mener des enquêtes afin de connaître l'existence d'éventuelles cavités souterraines et de marnières susceptibles de provoquer des effondrements de sol. Cette enquête doit être menée auprès des habitants également.
- Un financement pour des travaux de prévention, afin de réduire la vulnérabilité des biens et des personnes ou de délocaliser/exproprier des bâtiments sinistrés à plus de 50%.
- Des dispositions permettant une meilleur communication, notamment en rendant obligatoire la mention du risque lors de transaction.

**Décret n° 2005-3 du 4 janvier 2005 modifiant le décret n° 95-1089 du 5 octobre 1995 relatif aux plans de prévention des risques naturels prévisibles.**

Commentaires : Ce décret donne quelques précisions sur les périmètres, les autorités... concernées par les PPR.

Sont présentées les modifications par rapport au décret n° 95-1089 du 5 octobre 1995.

**Article 2**

Il remplace l'article 2 du précédent décret.

L'arrêté prescrivant l'établissement d'un plan de prévention des risques naturels prévisibles détermine : Le périmètre mis à l'étude et la nature des risques pris en compte ; il désigne également le service déconcentré de l'Etat qui sera chargé d'instruire le projet.

Cet arrêté définit également les modalités de la concertation relative à l'élaboration du projet. Il est communiqué aux maires des communes concernées qui doivent l'afficher pendant un mois en mairie et l'insérer dans un journal diffusé dans le département concerné.

**Article 5**

Il remplace l'article 7 du précédent décret.

Le projet de plan de prévention des risques naturels prévisibles est soumis à l'avis des conseils municipaux des communes et des EPCI compétents pour l'élaboration des documents d'urbanisme dont le territoire est couvert en tout ou partie par le plan.

Si le PPRN contient des mesures sur les incendies, les SDIS et autres organismes concernés sont consultés sur les mesures de prévention des incendies de forêt ou de leurs effets.

Si les PPRN contiennent des indication sur les surfaces agricoles, les Chambres d'Agriculture sont consultées.

Les avis demandés doivent être rendus dans un délais de trois mois, sans quoi ils sont réputés favorables.

Le projet de plan est soumis par le préfet à une enquête publique.

A l'issue de ces consultations, le plan, éventuellement modifié, est approuvé par arrêté préfectoral. Il est alors diffusé en mairie, affiché et publié dans un journal départemental.

***C. Les textes scientifiques et techniques.***



**Felts D. Vulnérabilité des réseaux urbains et gestion de crise : exemple de l'inondation de mars 2001 à Lyon et Mâcon.** Lyon : CERTU, 2002, 78 pages.

Commentaire : Ce texte propose une comparaison entre la gestion d'une même inondation à Macon et à Lyon, en proposant également une vision technique de la gestion des réseaux. Ce texte donne de nombreux éclairages sur les problèmes engendrés par une inondation et les interconnexions entre réseaux. Cependant, la comparaison des coûts de réparation ou de mise à niveau des installations ne paraît pas très pertinente vue la différence des zones concernées et le fait que certaines informations sont manquantes (notamment DDE).

Résumé : les réseaux urbains sont très sensibles aux inondations. L'enquête menée à la suite des inondations de mars 2001 à Lyon et Mâcon auprès de concessionnaires de réseaux permet d'appréhender les effets directs et indirects, les moyens de substitution possibles, les coûts de réparation...

La crue :

Cette étude commence par une description de la crue de 2001. Celle-ci correspond à une crue de période de retour de 30 ans, à Lyon comme à Mâcon, classée la quatrième plus importante observée depuis 1910. Le débit maximum hivernal moyen de la Saône est de 700 m<sup>3</sup>/s. Celui observé en mars 2001 était de 2600m<sup>3</sup>/s. Hormis les débordements de la Saône, cette crue a également provoqué une forte remontée des nappes souterraines.

Le secteur d'étude sélectionné s'étend de Caluire à Mâcon.

Gestion de crise :

L'annonce de la crue est du ressort du Service de Navigation Rhône Saône (SNRS) qui recueille et fournit tout au long de l'année les niveaux d'eau et de débit. Une cellule du SNRS gère également les mesures de protection adaptées : carte des zones submersibles, suivi des constructions en zones inondables, endiguement et entretien du lit majeur...

Le Service d'Annonce des Crues élabore les avis d'annonce de crues qui sont transmis aux Services de la Protection Civile qui alertent ensuite les maires concernés. Les maires alertent quant à eux les habitants.

Le Plan de Secours Spécialisé Inondation du Rhône :

Suite à l'annonce de la crue, le préfet peut demander la réunion d'une cellule de crise composée de différents services de l'Etat : la DDASS<sup>1</sup>, le DDSIS<sup>2</sup> la DDAF<sup>3</sup>, le SNRS la DDE<sup>4</sup>, la DDSP<sup>5</sup> , les services de la gendarmerie et Météo France. En 2001, la Ville de Lyon avait sa propre cellule de crise.

Depuis la crise de 2001, le Grand Lyon est devenu un partenaire de la cellule de crise ainsi qu'Electricité de France pour les barrages hydroélectriques concernés.

La gestion de crise à Mâcon :

Sur la commune de Mâcon, la cellule de crise organisée en mairie coordonne les services techniques et informe le public. Cette cellule est en cela particulière qu'elle associe l'ensemble des gestionnaires de réseaux afin de limiter les interruptions de services. Cette cellule est donc composée des services de la mairie, de la DDE, de l'OPHLM, EDF, GDF, France

---

<sup>1</sup> Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales.

<sup>2</sup> Direction Départementale des Services d'Incendie et de Secours.

<sup>3</sup> Direction Départementale de l'Agriculture et de la Forêt.

<sup>4</sup> Direction Départementale de l'Équipement.

<sup>5</sup> Direction Départementale de la Sécurité Publique.

Télécoms, de la Smadec (service eau, assainissement et Chauffage urbain) et d'un représentant de la cellule Sécurité Civile de la Préfecture.

La cellule de crise départementale de Saône et Loire fait intervenir les mêmes services de l'Etat que celle du Rhône. Toutefois, en 2001, elle ne disposait pas d'un Plan de Secours Spécialisé Inondation.

#### L'enquête par réseau :

L'ensemble des gestionnaires de réseaux de la ville de Mâcon et du Grand Lyon ont été contacté afin de connaître les atteintes constatées sur les réseaux, les moyens pris pour les éviter et les réponses aux interruptions de service.

#### ***Le réseau routier à Mâcon :***

Le centre ville de Mâcon est constitué en grande partie par un centre ancien piéton qui a été recouvert par 0,50 à 0,65m d'eau. Lors de crues, un huitième de Mâcon est recouvert par 0,30 à 1,5 m d'eau.

Les quais des Marans, la Zone industrielle du Stand et le quartier des Blanchettes sont inondées par submersion directe alors que le centre ville est inondé suite à des refoulement en point bas du réseau d'assainissement.

Les désordres directs observés sont des endommagements des accotements, déstabilisation des trottoirs, apparition de nid de poule, détérioration de l'éclairage public et dépôt limoneux résiduel sur les chaussées.

Les submersions entraînent l'impossibilité locale de circuler. Pour les automobilistes, des déviations sont mises en place. Pour les piétons, la montée de la crue étant assez lente, des passerelles sont mises en place. Durant la crue, certains commerces continuent leur activité.

Pour réaliser rapidement les installations piétonnes, les Services Techniques de la mairie possèdent 4 kilomètres de passerelles piétonnes sécurisées. Les travaux de gestion de crise et de réparation sont entièrement pris en charge par la mairie.

#### ***Le réseau routier sur le Grand Lyon :***

Les effets directs observés, outre l'inondation, sont des dépôts de limons et des endommagements de la couche de roulement dus à des tassement de la chaussée.

La circulation a été coupée en plusieurs points et des mesures contradictoires sur les itinéraires de délestage d'une commune à l'autre ont posés des problèmes, principalement aux heures de pointes. Les services de collectes des ordures ménagères et les transports en commun ont également été perturbés ou interrompus.

Les problèmes de circulation ont été principalement liés au fait que les communes organisaient par elles-mêmes les déviations de circulation, sans qu'il soit tenu compte de la cohérence globale du réseau. On a donc pu observé des ruptures d'itinéraires.

Pour les piétons, quelques passerelles ont été mises en place, mais celles-ci n'étaient pas sécurisées et ce sont révélées peu praticables voire dangereuses.

L'absence de concertation s'est donc révélé être le point faible de l'organisation de la crise. La méconnaissance du risque inondation et des mesures à prendre a également joué un rôle dans la mauvaise gestion de crise.

#### ***Les réseaux d'eaux usées et pluviales à Mâcon :***

En centre ville, le réseau de collecte est unitaire. En période de crue, le réseau ne joue plus son rôle de collecteur mais refoule les eaux à partir des exutoires de la Saône. Les coûts des travaux à effectuer pour protéger efficacement le centre ville de Mâcon des remontées d'eaux ont été chiffrés mais jugés trop importants pour être réalisés.

Lors de crues importantes, comme celle de 2001, se produisent des rejets directs dans le milieu récepteur par débordement. De plus, à partir de la cote de 5m, la station d'épuration

est arrêtée et les eaux sont directement déversées dans la Saône à partir des déversoirs d'orage.

Les effets observés, en plus des débordements, sont donc la présence de mauvaises odeurs, la difficulté d'écoulement des branchements en partie basse de la ville et des incidences possibles sur la santé publique.

Après la crise, les réseaux ont été nettoyés et rincés à l'aide d'hydrocureurs et les rues ont été nettoyées et désinfectées.

### ***Les réseaux d'eaux usées et pluviales sur le Grand Lyon.***

En période de crue, les effluents sont soit directement rejetés dans le milieu naturel, soit envoyés en station d'épuration mais traités moins efficacement à cause d'une part de la dilution des effluents, d'autre part de la diminution du temps de séjour dans les bassins.

Pendant la crue de 2001, les stations d'épurations et poste de relèvements n'ont plus été performants et la plupart des effluents ont été directement rejetés dans la Saône. Des dépôts de matières ont été observés sur voiries ainsi que des refoulements en point bas.

Le milieu récepteur a subi une pollution qui n'a pas été évaluée, le réseau a été colmaté et envasé.

La station d'épuration de Neuville-sur-Saône est située en zone inondable. Pendant la crue, elle a connue une coupure d'électricité qui a engendré la nécessité de transférer les boues de la station vers d'autres stations d'épuration proches.

Des by-pass sont mis en place en différents points du réseau afin de dévier les effluents vers la Saône en cas de crise.

### ***Les réseaux d'électricité et de gaz à Mâcon :***

Les réseaux de transport Haute Tension et Basse Tension (HTA et BTA) sont étanches et n'ont pas connus de dommages. Des coupures de courants ont été résultées de la mise hors tension pour la sécurité des habitants. Les habitants touchés par ces coupures n'avaient plus accès au téléphone. Les habitants concernés sont ceux dont les branchements sont susceptibles d'être inondés.

### ***Les réseaux d'électricité et de gaz à Lyon :***

Le réseau de gaz n'a pas été touché par les inondations de mars 2001, les dommages concernent la continuité du service d'alimentation électrique.

Les coupures d'électricité ont résulté de l'inondation d'ouvrage ou de la mise hors tension préventive. Là où cela était possible, des réseaux aériens temporaires ont été posés et alimentés par des groupes électrogènes. Dans les autres cas, les habitants ont été évacués.

### ***Les atteintes au Transport en Commun Lyonnais :***

Durant 6 jours de la crue de mars 2001, l'impossibilité de circuler sur certains axes routiers recouverts d'eau a touché le réseau de bus des TCL. Les perturbations concernaient des changements d'itinéraires, la non-desserte des arrêts habituels, la modification des sens de circulations, des problèmes de circulations...

### ***Le réseau de chauffage urbain à Mâcon :***

Les modes d'endommagements possibles du réseau de chauffage urbain sont diverses : détérioration de l'isolation des conduites, modification des caractéristiques du sol et affaissement des conduites, rupture des conduites...

Lors de la crue de mars 2001, un seul abonné n'a pu être desservi par le chauffage urbain, du fait de l'inondation de son habitation.

### ***Le réseau d'éclairage public du Grand Lyon :***

Lors de la crue, 5 arrondissements ont été partiellement touchés par des coupures d'éclairage publics, dues à l'immersion d'appareils ou à leur arrachages.

Comme EDF a dû mettre hors tension certaines parties du réseau, l'éclairage public a également été coupé.

### ***Le réseau d'eau potable du Grand Lyon:***

Le réseau d'eau potable du Grand Lyon est alimenté par le champ captant de Crépieux-Charmy pour 90% des besoins en eau. Après avoir été traitée, l'eau alimente trois réseaux principaux de distribution. Les puits et têtes de puits ainsi que les installations électriques sont situées un mètre au dessus de niveau de la crue centennale et n'ont donc pas été touchés par la crue de 2001.

Les effets de la crues sont les arrêts de quelques heures ayant eu lieu pour réparation après la crue. En effet, la déstabilisation du sous-sol engendre des perturbations : risque de casse des canalisations entre autre. En 2001, 3 casses ont eu lieu sur une même canalisation suite à la crue, mais les affouillements n'ont pas produit d'arrachement.

### ***Le réseau de télécommunications du Grand Lyon :***

Le réseau de télécommunication est un réseau primordiale pour la communication de l'évolution de la crise et pour sa gestion.

Lors de la crue de 2001, plusieurs câbles et sous-répartiteurs ont été noyés, entraînant les coupures des communications.

Les réseaux ayant été endommagés, le rétablissement des communication n'a pu avoir lieu qu'après la décrue. Une maison de retraite a du être évacuée en attendant le rétablissement des communications.

Suite à cette crue, France Télécom a entrepris de mettre sous pression une partie du réseau afin de l'assécher et d'empêcher l'infiltration d'eau.

### **Vulnérabilité des réseaux :**

Lors d'une inondation, les liens de dépendance entre les éléments d'un réseau mais aussi les interactions entre les différents types de réseaux peuvent ajouter à la vulnérabilité physique des réseaux.

Dans le cas de la crue de 2001, l'exemple d'interactions entre réseaux le plus significatif est l'arrêt de l'alimentation en courant de Neuville-sur-Saône, qui a engendré l'arrêt de la station d'épuration de la ville et donc le rejet en rivière des eaux usées. La conséquence est donc la pollution du milieu naturel.

Presque tous les réseaux sont vulnérables vis-à-vis du réseau d'électricité. Celui-ci est donc caractérisé de réseau agressif vis-à-vis des autres. Sur la figure suivante, il apparaît que le dysfonctionnement d'un tel réseau est dommageable pour les utilisateurs et les autres réseaux dans un premier temps, et que ces réseaux deviennent eux-mêmes, par leur dysfonctionnement, un problème pour les utilisateurs.

Depuis les inondations de 2001, les gestionnaires de réseaux lyonnais ont plus que jamais pris conscience de l'importance de protéger leur réseau, et ce pour éviter des pertes de fonctionnement et les coûts des réparations. Ces changements peuvent être mis en place progressivement pour les réseaux enterrés, lors de leur renouvellement, ou plus rapidement lorsqu'il s'agit de la mise hors eau des installations.

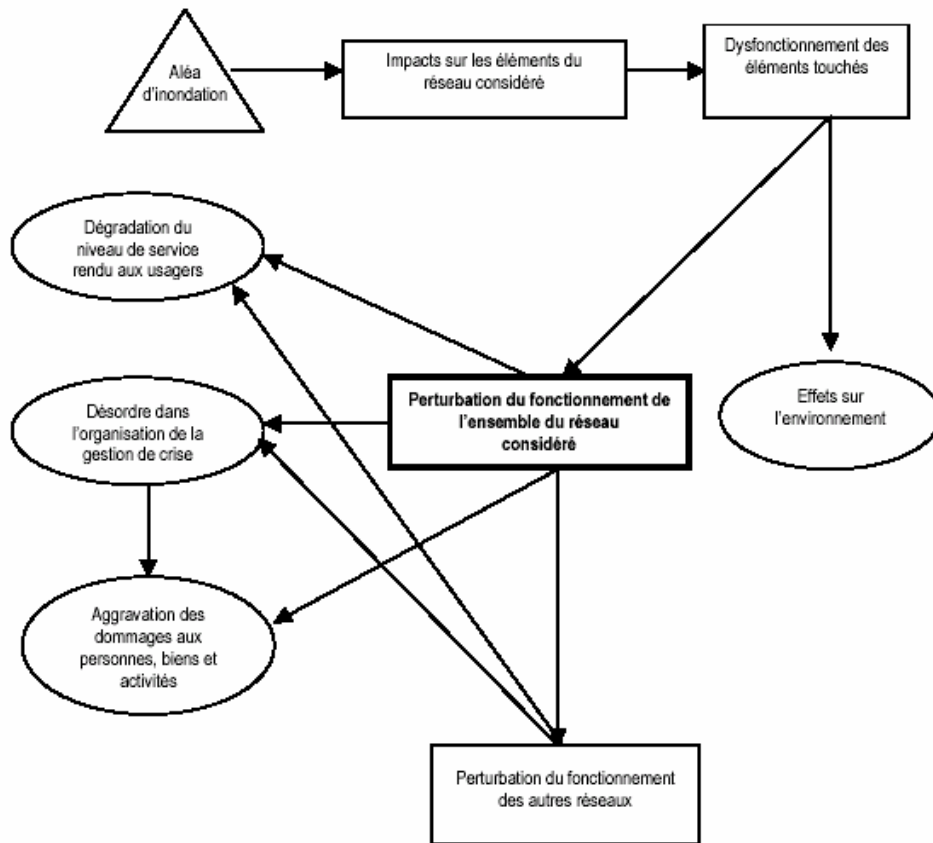


Figure 1 : Effets en chaîne provoqués par un aléa. (Felts, 2002)

Prost T, **Le risque, Frontière du génie urbain : identification et organisation des connaissances utiles pour l'aide à la décision dans les réseaux techniques urbains (eau potable et assainissement)**, Thèse de doctorat Conception en bâtiment et techniques urbaines, Lyon : INSA de Lyon, 1999, 202 pages.

Commentaire : cette thèse a pour sujet principalement la gestion des réseaux (eau potable et assainissement) en période normale puis en période de crise : comment adapter la gestion actuelle orientée vers le renouvellement à une gestion prenant en compte un risque pouvant apparaître à tout moment. Elle met en évidence l'utilité d'une gestion en temps réel.

### □ **De quelles connaissances a-t-on besoin pour le génie urbain ?**

#### **Contexte**

Autonomie : autonomie de l'organisation urbaine vis-à-vis de son environnement grâce à la fourniture d'un service.

#### Hétérogénéité :

Due à la lenteur de la construction des réseaux : évolution technique (passage du réseau cuivre u réseau fibre optique)

Due à la différence des dessertes : pas de gaz partout

Hierarchisations différentes des réseaux : différentes priorité selon localisation

Donc évolution des paramètres :

Couple vieillissement/maintenance

Couple obsolescence/ investissement (selon normes, innovations...)

Niveau de service

Tarifcation

#### Information :

Système de gestion des informations nécessaires à la gestion des réseaux : représentation des réseaux et ensuite décision.

#### **Notion de risque**

Risque : outil pour guider la production de connaissance et objet à maîtriser.

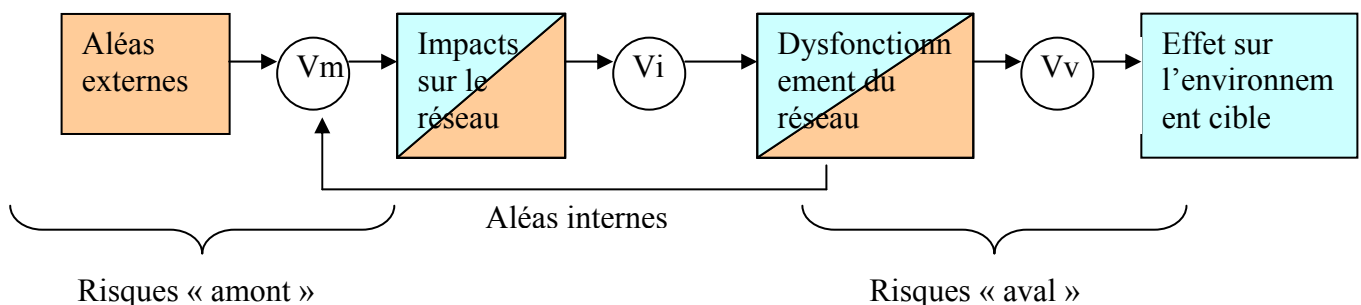
Vulnérabilité amont : facteur de risque :  $V_m$

Vulnérabilité aval : effets potentiels :  $V_v$

Vulnérabilité interne :  $V_i$

■ perturbateur

■ vulnérable



## ❑ Le risque au cœur des réseaux.

Comment, à partir de l'existant, des pratiques et des recherches, construire des problématiques techniques pour une aide à la décision ?

- gestion en temps réel
- gestion patrimoniale
- systèmes d'aide à la décision.

### **Risque et gestion en temps réel : gestion des flux.**

Développement année 60 : télé exploitation

Développement année 70 : télésignalisation, traitement centralisé des informations

Développement année 80 : télémessures

Maintenant : télégestion et gestion tendue des flux : système plus fragile et dysfonctionnement plus pénalisant.

- Pouvoir décrire et reconnaître les dysfonctionnements
- Pouvoir apporter des réponses aux dysfonctionnements

### **Question du temps réel :**

Les réseaux ont des entrées complexes, donc chaque phénomène est non-reproductible :

Soit entrée complexe lié au fonctionnement du réseau (source, qualité..)

Soit entrée complexe liée aux comportements individuels

#### ❖ En assainissement :

Gestion d'ouvrage, puis de flux, puis d'évènements.

2 conditions : pouvoir agir et en avoir le temps

- Organisation dynamique supervision basée sur pluie prévue (organisation radar)
- Connaissance réseaux par opérateur (connaissance empirique des réactions du réseau)

#### ❖ En eau potable :

Eviter les ruptures de service et assurer la qualité de l'eau.

Conduite en temps réel des opérations : augmenter le temps d'anticipation

Problème des différences de niveau de stockage aux temps  $T_i$ .

#### ❖ Conduite à base de règles ou optimisation ?

- Pour assainissement, la recherche d'un optimum n'est pas possible : problème de prise en compte de l'ensemble du réseau + STEP + milieu récepteur, rapidité, problème mesure + situation complexe et non reproductible
- Optimisation en eau potable que si la sécurité et la qualité sont assurés et si les paramètres sont connus : ceux-ci sont aléatoires (ex du niveau des réservoirs) et complexité de la prévision des consommations.

#### ❖ Prise en compte des dysfonctionnements

- Pour les GTR, importance de :

Validité des informations (hydrologie, mesure des ouvrages, capacité, disponibilité, pannes...)

Détection et prévision des dysfonctionnements

Vérifier la validité du GTR par rapport à la gestion précédente

### **De la Gestion en Temps Réel à l'autonomie.**

La GTR : stratégie d'évitement de la crise, fondée sur le principe de se maintenir sur des trajectoires connues et maîtrisées et de détecter le plus tôt possible les signes de divergence ou de sortie d'un domaine de fonctionnement sûr.

❖ L'apprentissage :

Au-delà d'une certaine complexité, ou dimension, seules les trajectoires satisfaisantes sont envisageables et plus les trajectoires optimales.

L'apprentissage : démarche de recueil de données du réseau et de l'observation de celui-ci (mémorisation et simulation) et comparaison avec technique préexistante de gestion.

Objectifs de la GTR :

En assainissement : lutte contre inondation, limitation des déversements vers le milieu naturel (en fréquence et en charge), réduction pompage et optimisation STEP.

En eau potable : sécurité (éviter rupture de service) et qualité, économie : réduire les coûts de pompage et diminuer l'usure.

Pour un site donné : élaboration des fonctions-critères représentatives du service externe (aux consommateurs) et interne (efficacité et rentabilité en énergie, personnel, équipement, ressources naturelles).

❖ Démarches :

- Montrer les gains de la GTR par rapport aux autres gestions
- Evaluer l'influence des différents paramètres de pilotage pour trouver un compromis pour l'ensemble des critères.
- Essayer de prendre à défaut ce compromis : trouver des règles de paramétrages.

Si le comportement prévu n'est pas celui observé : les conditions de validité ne sont plus observées ou le comportement n'est pas le bon (défaillance du système).

Risque de ne pas pouvoir gérer la crise comme prévu : faire apparaître ou aggraver une situation de crise.

Conclusion : stratégie d'évitement de la crise :

Exigence sur la maintenance (pouvoir mobiliser les ressources)

Action sur le développement pour la diminuer ou la faire évoluer (varier les sources)

**Risque et gestion patrimoniale :**

Vétuste : lorsque la baisse des réserves d'adaptation du réseau ne lui permet plus de faire face de façon satisfaisante aux sollicitations du milieu ou aux exigences du service

- soit vieillissement : déplacement du réseau par rapport à son état de référence
- soit obsolescence : déplacement de l'état de référence.

Gestion patrimoniale :

- action curative : reconstitution des réserves
- action préventive : augmentation de la réserve
- action corrective : limitation des cause de diminution des réserves.

Buts : empêcher que

- les sollicitations du réseau n'engendre des dégradations
- les dégradations n'entraînent des dysfonctionnements
- les dysfonctionnements ne produisent des impacts.

**Interdépendance**

- 1) prévision à long terme de l'état du réseau
- 2) sélection des conduites à réhabiliter, planification.



Problème de l'aide à la décision :

- question de la mesure ou de l'évaluation
- contrainte de coût (enveloppe budgétaire annuelle)
- concevoir des indicateurs appropriés pour un tronçon et l'ensemble du réseau.

❖ Eau potable :

Connaissance du taux de rupture des canalisations.

Préoccupation de maintenance à court terme, mise en rapport indicateur/impact.

Préoccupation à long terme, orientation des stratégies.

Définition de catégories de conduites à remplacer.

❖ Assainissement :

Expertise du réseau.

Pas d'indicateur technique existant.

Pas de modèle fiable de prévision des dégradations.

### **Systeme d'Aide à la Décision : apport de la notion de risque.**

SAD : il faut :

- que les acteurs en possession de SAD aient un pouvoir de décision
- qu'il soit incéré dans le processus de décision.

Le SAD est soumis à des conditions d'émergence et à des conditions de fonctionnement.

La démarche AD garantie :

- 1) explicitation des contraintes et attentes/intérêts concernés
- 2) exploration des options alternatives
- 3) évaluation rationnelle des risques correspondants.

AD : aide à la gestion du risque (risque de mal faire, d'empirer une situation ou de créer une situation de crise).

### **□ Le risque, frontière du génie urbain.**

#### **Définition de la frontière :**

Délimiter la frontière du réseau : jusqu'ou doit aller l'étude d'AD

#### **Production de connaissance :**

Identification du problème : contraintes et objectifs

Obtenir un résultat satisfaisant sur l'objectif 1<sup>er</sup> sans que l'objectif 2<sup>nd</sup> (lié aux contraintes) soit trop dégradé.

#### **Représentation et modélisation :**

L'approche risque est à la fois systémique (conceptuel) et analytique (déterminé scientifiquement) pour identifier les vulnérabilités et prévoir les événements.

#### **Organiser/recueillir des données :**

- Entrées complexes donc sollicitations auxquelles les ouvrages sont soumis sont non bornées, non décrite par une valeur instantanée, résultent de différents phénomènes.
- Quelles données collecter ?

Elles doivent être représentatives d'une situation de risque : doit rencontrer une vulnérabilité.

Elle doit pouvoir être comparée à une valeur de bon fonctionnement.

- Quelle échelle utilisée ?

Le recueil de données dépend de l'échelle spatio-temporelle (évolution des sollicitations)

-> La gestion patrimoniale de données et d'observation du comportement du réseau est liée à une démarche d'apprentissage du fonctionnement des réseaux.

**Risques et périls**, *Les annales de la recherche urbaine* : N° 40, Paris, novembre-décembre 1988, 128 pages.

Commentaires : articles intéressants, notamment pour une première culture des risques, même si les références sont plutôt anciennes (les textes réglementaires proposés ne sont plus à jour). L'ouvrage permet une approche par thème.)

- **Risques et réseaux : les coupures d'eau**. Pierre Vidal-Naquet. P 37-46

Résumé : « Les réseaux d'adduction d'eau doivent satisfaire la demande quelle qu'elle soit, prévenir ses excès, faire face aux pollutions accidentelles des sources d'alimentation. Des techniques toujours plus sophistiquées y pourvoient. Les municipalités réaffirment leur légitimité en cas de crise, aux côtés de l'Etat pourvoyeur de technique de prévention. »

« Le spectre de la paralysie urbaine n'est pas seulement lié à l'occurrence des grands accidents ou des grandes catastrophes, mais aussi à celle des défaillances même les plus mineures, les plus insignifiantes, susceptibles de se produire dans les appareils techniques qui innervent la ville. Ce n'est plus seulement la catastrophe qui peut bloquer la ville, mais aussi l'inverse : le blocage du système urbain, ou même d'une partie de ce système, peut transformer de simples accidents en de véritables catastrophes. »

- **La valeur du risque dans le service des eaux**. Mitchell J-Rycus, Etats-Unis. P 47-52

Résumé : « comment évalue-t-on les risques encourus par les systèmes d'adduction d'eau aux Etats-Unis ? Des indices approximatifs permettent d'en donner une représentation chiffrée et d'aider les collectivités territoriales à prendre leurs décisions. »

#### Probabilité des événements perturbateurs

<i>Evènement</i>	<i>Indice de probabilité</i>	<i>Type (intentionnel P ou non N)</i>
Accident	5	N
Dysfonctionnement	5	N
Vandalisme	5	P
Erreur humaine	4	N
Vétusté	4	N
Catastrophe naturelle	3	N
Chantage	2	P
Sabotage	2	P
Fuite ou infiltration d'eaux usées	2	N
Terrorisme	1	P
Troubles politiques	1	P

#### Vulnérabilité des éléments

<i>Eléments</i>	<i>Indice de vulnérabilité</i>
Adduction	5
Usine de traitement des eaux	4
Réservoirs et châteaux d'eau	4
Station de pompage	3
Réseaux de distribution	2
Exploitation (contrôle technique et administration)	1

Hiérarchie des valeurs collectives : indices

Bien être de la population	3
Commerce et industrie	2
Environnement	1

Ordre de gravité des impacts : indices

Contamination	3
Restriction imposée	2
Réaction négative des usagers	2
Inondation	1
Surcharge	1

• **L'inondation des villes, un phénomène maîtrisable ?** Geoffroy Caude. P 53-64  
Résumé: « L'inondation des villes, par les fleuves aux bords desquels elles se sont développées, est un des risques urbains les plus importants. La défense des villes contre les crues pose le problème du choix du niveau de protection. L'urbanisation des zones inondables en phase de croissance s'est accompagné de mesures techniques insuffisantes. Les risques d'inondation demeurent, notamment pour les crues exceptionnelles. Comment sont-ils évalués ? »

L'inondation est le risque naturel le plus répandu en France, avec 7500 communes exposées, dont 300 agglomérations, soit 4% du territoire nationale.

Politique :

- ❖ Avant 1960 : fatalisme face aux inondation puis mise en place de protection (digues).
- ❖ De 1960 à 1970 : politique d'aménagement du territoire avec urbanisation des zones inondables suite à la pression urbaine croissante.
- ❖ Début des années 1980 : succession de crues, le problème de la gestion des risques apparaît.

Défense des villes :

- ❖ Barrages écrêteurs de crues
- ❖ Travaux sur le lit du cours d'eau.
- ❖ Endiguement
- ❖ Re-dimensionnement des réseaux.
- ❖ Annonce des crues et principe de gestion de crise.

• **La vulnérabilité de la ville à l'incendie.** Jocelyne Dubois-Maury. P 65-72  
Résumé: « L'incendie menace toujours la ville et mobilise services de secours, de prévention et assureurs. Les grands incendies ont été à l'occasion de nouveaux aménagements urbains comme à Chicago, Boston et Baltimore il y a un siècle. L'urbanisme contemporain parfait ses réponses réglementaires et techniques. Mais l'aléa demeure. »

Les incendies représentent 19% des événements catastrophiques mondiaux entre 1970 et 1985.

L'évaluation des pertes économiques se fait à partir de ce que les particuliers déclarent aux assurances : les propriétés publiques ne sont pas comptées par manque de chiffres.

❖ Relation entre l'incendie et l'urbain :  
Nature des constructions  
Etat des équipements énergétiques.  
Accessibilité aux secours.

- ❖ Cause exogène :

Tesina : Modelo para el estudio de la vulnerabilidad de los servicios técnicos urbanos frente a los riesgos naturales

Séismes qui entraînent des ruptures sur les réseaux énergétiques. (exemple de Tokyo en 1923).

Foudre.

Incendie de formation végétale proche des agglomération et leur propagation (par le vent).

❖ Réglementation :

En particulier pour les ERP.

Acte Commun Européen

Loi du 22 juillet 1987 sur la sécurité civile qui permet entre autre aux préfets d'imposer aux maires de communes concernées de prendre en compte des mesures de limitation de l'urbanisation dans le POS, avec zone de servitude, à proximité de zones potentiellement dangereuses (usines chimiques, station service...).

Menoni S., **Chains of damages and failures in a metropolitan environment : some observations on the Kobe earthquake in 1995**, *Journal of Hazardous Materials* 86, 2001, p101-119

Commentaire: Texte très intéressant, notamment pour l'éclairage et l'exemple qu'il présente d'un effet domino lors d'un séisme. Cet article étudie non seulement l'effet d'un réseau sur la catastrophe mais aussi en quoi les comportements de panique aggravent ces phénomènes. Cette étude est donc relativement générale et propose une vision globale et transversale de la catastrophe. Il n'y a pas de formalisation, de mise en équation de ces phénomènes. Un autre texte de Scira Menoni propose des matrices de classification.

Abstract:

"The interaction and the couple effects that may occur as induced and indirect consequences of any triggering hazard in metropolitan areas is one of the most important problems to be tackled during disasters, as the Kobe earthquake in 1995 showed very clearly. The analysis of direct, secondary and indirect effects of the Kobe earthquake suggests to substitute the concept of chain of losses and failures to the simple couple hazardous event-damages which is currently used. Not only parameters related to physical weakness or strength of the built environment should be considered by scientists, experts and decision-makers. Organisational, social, and systemic factors are equally crucial to understand the magnified dimension of disasters at increasing levels of exposed systems vulnerability. Linking failures due to different kinds of vulnerability one to the other permits to reconstruct complete event scenarios, where social and organisational elements are not simply added to the 'hard' components of cities, but contribute to explain why failures and losses occurred and why it took so long to repair them. Lifeline damage assessment provides a good example to show how physical, organisational and systemic vulnerabilities are intimately connected one to the other. The point of view from which governance problems related to prevention and emergency preparedness will be looked at is that of an urban and regional planner. When planners look for design solutions suitable for a specific town or region, they must constantly bridge between hard technical matters and social and economical concerns. Furthermore, they are forced to consider in their projects spatial and geographic dimensions. Those two typical features of planners' approach to problem solving can be interesting for scholars in the field of risk assessment and mitigation research."

Résumé:

L'aspect social, économique...de la catastrophe naturelle est pris en compte dans les études de risque depuis quelques années seulement. Le risque est depuis peu considéré comme plus complexe que la simple occurrence d'un phénomène naturel et le tremblement de terre de Kobe a montré à quel point les conséquences des interactions, des effets couplés, induits ou indirects sont primordiaux lors d'une catastrophe en espace urbanisé. Cette catastrophe a montré que le concept de chaînes de pertes et de dysfonctionnements est plus approprié aux phénomènes urbains que la simple relation événement/dommages et que l'organisation d'un plan de secours est primordial.

La catastrophe :

A 5h47 du matin, un tremblement de terre de 7,2 sur l'échelle de Richter secoue Kobe. L'épicentre se situe à 20 kilomètres au sud de la ville. Le bilan de la catastrophe est de 43 177 blessés et 6300 morts, dont 5500 de la ville de Kobe. Presque 94000 maisons ont été entièrement détruites, laissant 320 000 sans abris alors que 106 000 bâtiments étaient fortement atteints et 7000 avaient pris feu suite à l'endommagement de conduites de gaz. En

effet l'arrêt automatique du gaz ne s'est pas déclenché et le directeur de la compagnie de distribution locale du gaz n'a ordonné l'arrêt de la distribution qu'à 11h ce jour là, soit 5h après le séisme.

Le risque le plus connu à Kobe était le risque de typhon, et non le risque sismique, et les autorités, bien que prévenues de la possibilité d'un séisme, n'avaient mis en place aucun plan de secours particulier pour une telle éventualité. Contrairement à d'autres villes japonaises reconnues sensibles au risque sismique, les constructions traditionnelles n'étaient pas faites pour résister à ce genre de secousses. Même lors de la reconstruction de la ville, de nombreux immeubles ont été reconstruits en passant outre les règles premières de sécurité, telles les distances de façades à façades.

L'approche systémique :

En plus des paramètres physiques, des matériaux, de l'âge des constructions et des infrastructures, les indicateurs sur l'utilisation de l'environnement et des ressources et sur leur gestion sont tout autant importants pour comprendre un système urbain. Pour réaliser un unique modèle d'étude et de gestion des risques d'une ville, il faut non seulement avoir des rapports de chaque discipline (génie civil, bâtiment, urbanisme, sociologie...) mais également des rapports croisés. De plus, la gestion de crise implique la prévision de scénarios pour évaluer et prévoir le système de prise de décisions.

Un grand nombre de systèmes interagissent dans un environnement urbain, dont les réseaux urbains.

Réseaux urbains :

Lors de la catastrophe de Kobe, de nombreux réseaux ont été touchés : lignes de métro, routes et autoroutes, réseaux d'eau potable, réservoirs, réseaux de gaz, réseaux électriques et de communications, tous ont été touchés plus ou moins sévèrement. Ces perturbations ont créées des incendies sérieux, qui ont été d'autant plus difficiles à contenir que les réseaux d'eau étaient atteints, que les lignes de communication étaient saturées et que les véhicules de secours étaient bloqués sur les routes encore en état.

Ainsi les réseaux peuvent dysfonctionner non seulement à cause de casse parmi leur propres éléments, mais également par effet indirect d'un dysfonctionnement technique, organisationnel ou fonctionnel d'un autre système.

La haute technicité de nos sociétés donne le sentiment aux populations que beaucoup, si ce ne sont tous, les problèmes, peuvent être résolus ou contenus par la technique. Cette confiance dans la technique influe sur le mode de gestion du risque et sur le comportement des populations. C'est pourquoi les gestionnaires de réseaux bouclent et interconnectent les réseaux, afin de sécuriser la distribution. Il est parfois plus difficile et coûteux de le faire pour les réseaux routiers, mais la ville de Kobe a également mis en œuvre la construction d'une nouvelle route et d'un pont supplémentaire.

En conclusion, cet article montre l'intérêt de mener des études complètes et abordant tous les domaines de la gestion des risques. En effet, tous les domaines des sciences humaines et techniques sont importants dans la gestion de crise. De même, toutes les infrastructures et réseaux étant liés, il est important de prendre en compte le maximum de phénomènes possibles, même s'il est inévitable que certaines implications ou connexions apparaissent au pire moment. Il faut donc préparer de fortes co-opérations entre opérateurs avant même la crise pour que cette co-opération soit naturelle en cas de problème.

Ministère de l'écologie et du développement durable, **Réduire la vulnérabilité des réseaux urbains aux inondations**. CERTU/CETE. Début 2006. 111 pages .

Commentaire : Ce dossier a pour but de constituer un outil d'aide à la gestion et à la réduction de la vulnérabilité des réseaux pour les communes et les gestionnaires.

Il propose l'identification des enjeux et des risques (incidences sur la ville de dysfonctionnements), des actions de prévention (protéger les réseaux, assurer la continuité du service), puis des fiches relatives à chaque réseaux urbain et une fiche de cas sur la crue de la Meuse de janvier 1995. Les fiches relatives aux réseaux sont particulièrement intéressantes pour comprendre les modes de dysfonctionnements en période d'inondation. Elles sont assez complètes pour pouvoir être exploitées par les concessionnaires.

- **Réseaux :**

Enumération des réseaux urbains :

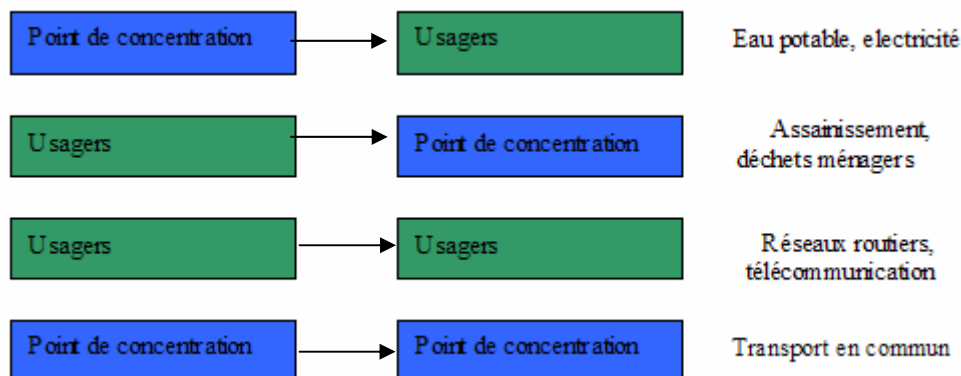
Réseau d'électricité, réseau de gaz, télécommunication, eau potable, assainissement, déplacement urbain, chauffage urbain, éclairage public, voie navigable.

« Le réseau public est un ensemble d'infrastructures (le moyen) qui sert de support à une mission de service public (la finalité). » (p6)

*Le point important de ces réseaux est leur finalité : le service public ; avec la possibilité de changer les moyens de sa réalisation.*

*Les réseaux répondent à différentes **typologies**, selon le rapport entre l'utilisateur et le point de concentration :*

Typologie des réseaux selon leur organisation : (fig typologie des réseaux p6)



En plus de se différencier par leur typologie, les réseaux diffèrent par leur **configuration** : réseaux enterrés (métro, télécommunication, gaz, eau potable, eaux usées, ligne électriques) ou en surface (ligne électrique, réseau routier et transport en commun).

- **Mécanismes d'atteintes :**

En fonction de leur configuration, les mécanismes d'atteintes diffèrent : ils sont soit directs (par l'inondation elle-même) soit indirect (par interdépendance).

Les mécanismes directs : la submersion, l'infiltration et l'humidité, l'action mécanique de l'eau, les embâcles et l'alluvionnement (à long terme).

Les mécanismes indirects : « *La particularité des réseaux est d'être inducteurs secondaires de crise : la survenance d'un aléa provoque en détériorant les réseaux, toute une chaîne de*

*dysfonctionnements induits, qui amplifient la crise.* »(p8). Les principaux réseaux structurant qui ont été reconnus ici sont : les routes, l'électricité et les télécommunications.

La classification des effets (directs ou indirects) n'est toutefois pas aisée, il s'agit plutôt d'une propagation des effets.

Ces effets sont l'aggravation des conséquences directes de l'inondation puis un impact sur les activités économiques, situées ou non sur la zone inondée.

- **Indemnisation :**

Les particuliers sont indemnisés selon le système suivant : « *les biens doivent être couverts pas un contrat d'assurance dommage ; l'état de catastrophe naturelle doit être constaté par un arrêté interministériel.* »(p14).

Les différents réseaux ne sont eux, pas assurés contre les catastrophes naturelles, ce qui implique que les propriétaires, les collectivités ou l'état, sont seuls responsables de leur réparations. Dans le cas de catastrophes naturelles, les collectivités peuvent demander des subventions exceptionnelles.

Les entreprises situées sur le territoire de l'inondation peuvent être indemnisées, ce qui n'est pas le cas des entreprises situées en dehors de la zone, même si elles ont subies des pertes de productivité, de vente...

- **Répartition des rôles.**

Les réseaux urbains sont le support de services publics, obligatoires ou facultatifs, à caractère administratif ou industriel et commercial (eau, assainissement, chauffage urbain).

La collectivité peut déléguer la gestion du service à un délégataire. Dans tous les cas, le service proposé doit être continu et « *la collectivité délégante reste garante du bon fonctionnement.* »(p18)

- **Evaluation des risques :**

A partir d'un certain seuil, les scénarii des risques ne concerneront plus que les biens et les personnes, mais également les réseaux. Hors ces réseaux génèrent des vulnérabilités particulières supplémentaires.

Deux types d'enjeux sont à prendre particulièrement en compte : « *ceux qui ont un rôle stratégiques en temps de crise et ceux qui sont sensibles du fait de la population qu'ils abritent.* »(p20)

Ces sites sont recensés dans les DICRIM et concernent aussi les réseaux urbains.

Pour les réseaux urbains, il est très difficile d'évaluer les limites d'impact de leur dysfonctionnement. Pour cette raison, il est plus facile d'étudier leur comportement aux aléas à posteriori.

- **Pour quel niveau réduire la vulnérabilité ?**

Le niveau de choix est avant tout politique et résulte d'une étude coûts/avantages.

Deux démarches peuvent être choisies : soit une protection pour protéger les réseaux face à une crue de fréquence choisie, avec une mise hors d'eau des réseaux, soit une protection pour des crues plus importantes en limitant les impacts et les effets.

- **Action de prévention :**

Les actions de prévention peuvent prendre la forme de nouveau dimensionnement des installations d'eau potable et d'assainissement, de surélévations des armoires de branchements, de raccordement, des postes de transformation...et d'amélioration de l'étanchéité des câbles ou de pressurisation.

- **Au-delà de la fréquence de crue choisie :**

Lorsque la crue dépasse la crue pour laquelle les mesures ont été prises, il s'agit de réduire au maximum les conséquences sur les personnes, les biens...Il faut également trouver ou mettre en place des moyens de substitution.



Les obligations quant à ces moyens sont décrits dans le plan ORSEC et le plan communal de sauvegarde.

Les exploitants des réseaux et la collectivité doivent s'entendre sur la démarche observée lors d'une crise et ce avant l'apparition de la crise. Il peut être choisi de maintenir le service pour des abonnés prioritaires, ou de couper entièrement le réseau pour protéger les utilisateurs (par exemple pour les réseaux de gaz ou d'électricité).

Il faut alors prévoir des mesures de substitution, comme l'utilisation d'installation de secours existante (achat d'eau potable en gros dans une commune voisine, ou utilisation de puits protégés...), l'utilisation de matériel de substitution (groupe électrogène) ou la mise en place de moyens ou de services provisoires (lignes électriques provisoires, distribution de bouteilles d'eau).

Le maillage des réseaux peut être une solution pour le réseau d'eau potable ou le réseau routier.

Il faut ensuite gérer au mieux la crise pour faire revenir le service à la normale, et si besoin réparer et remplacer certaines parties des réseaux.

- **Fiches des réseaux :**

Une fiche par réseau, qui présente : le fonctionnement normal du réseau, les atteintes possibles aux usagers, les mesures d'adaptation du réseau, le plan de secours de l'exploitant et l'organisation pour le maintien du service.

### Exemple de fiche de présentation :

## Fiche 5 – Réseau d'eau potable

### 1 Présentation du réseau

Le point de départ d'un réseau d'eau potable est le captage de la ressource, qui peut avoir une origine souterraine ou superficielle. Avant d'être distribuée, l'eau pompée est traitée dans une usine qui la rend propre à la consommation humaine. L'eau potable est ensuite refoulée dans un réseau de canalisations, au maillage plus ou moins complexe, ponctué de réservoirs depuis lesquels l'eau s'écoule gravitairement jusqu'au robinet des usagers.

Pour la réalisation des réseaux d'eau potable, le fascicule 71 du CCTG est le document de référence.

### 2 Atteinte au réseau et aux usagers

Partie du réseau	Atteinte	Effets sur les usagers
<b>Prise d'eau superficielle ou station de pompage (puits et têtes de puits, etc.)</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Dégradation de la qualité de l'eau brute<sup>6</sup></li><li>• Ennoiement, colmatage de la prise d'eau superficielle ou des stations de pompage</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Perturbation ou interruption de la distribution d'eau potable pendant la durée des réparations</li></ul>
<b>Installations des usines de production d'eau potable (poste de transformation, pompes, armoires électriques)</b>	Ennoiement des équipements sensibles, entraînant l'arrêt immédiat du captage et du traitement	<ul style="list-style-type: none"><li>• Nécessité d'un traitement plus poussé de la ressource brute entraînant une réduction de la capacité de traitement</li></ul>
<b>Réseau de distribution</b>	Fragilisation des canalisations par déstabilisation du sous-sol	<ul style="list-style-type: none"><li>• Contamination du réseau de distribution</li><li>• Problèmes sanitaires</li></ul>

*Nîmes, 1988. Destruction du réseau d'eau potable, ennoiement de la station de pompage (50 % de la ville a été privée d'eau potable pendant quatre jours).*

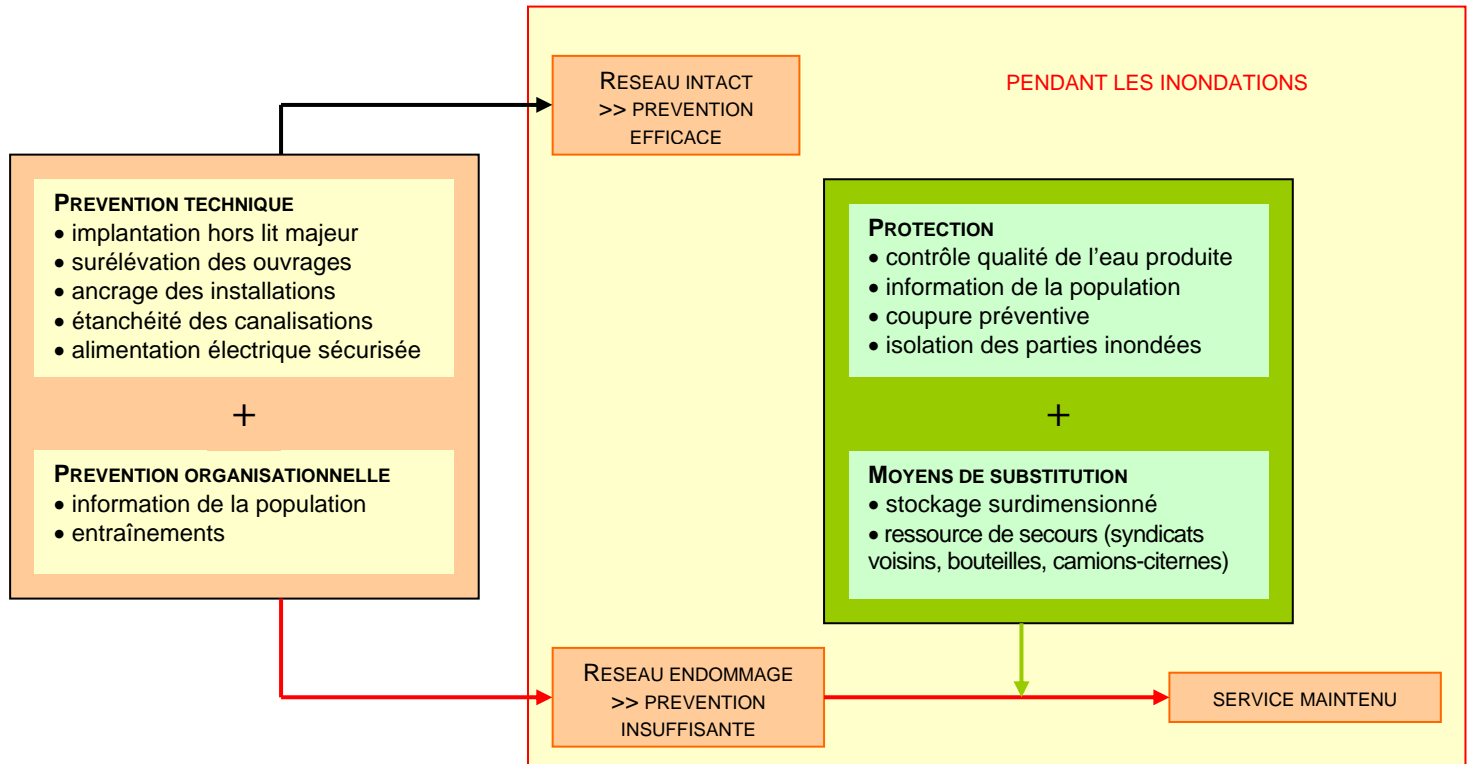
<sup>6</sup> Il est difficile de garantir une eau potable avec des installations ne pouvant pas traiter des eaux brutes trop chargées en matières en suspension (MES) ou en produits phytosanitaires. D'où l'intérêt de grouper et d'interconnecter les communes.

**Lyon, mars 2001.** Consécutivement à la crue de mars 2001, trois ruptures se sont produites sur une même canalisation d'eau potable en fonte, de diamètre 100 mm. Sur un autre événement hydrologique, en 1992, un arrachement de conduite s'était produit suite à un affouillement de berge.

### 3 Mesures d'adaptation des réseaux

La prévention consiste à mettre hors d'eau les ouvrages d'exploitation de la ressource et les ouvrages de stockage. Notons cependant que les champs captants sont quasiment toujours situés en zone inondable.

**Lyon.** Des mesures préventives ont été prises au niveau des ressources par le maître d'ouvrage, le Grand Lyon, dès leur installation en 1969. Les captages sont conçus pour fonctionner en cas d'inondation jusqu'à une crue centennale. Toutes les installations sensibles sont situées au-dessus des niveaux de crues centennales + 1 m.



Mesures de réduction de la vulnérabilité du réseau d'eau potable vis-à-vis des inondations (CETE du Sud-Ouest)

Ce schéma résume les principales mesures de prévention et de protection envisageables pour réduire la vulnérabilité du réseau d'eau potable, ainsi que leur positionnement dans le temps. Il constitue une ébauche du bilan de la crue considérée, nécessaire à l'évaluation des actions entreprises.

#### 3.1. Ouvrages d'exploitation de la ressource

##### Localisation et mise hors d'eau

Pour fiabiliser le captage de la ressource, il convient de mettre hors d'eau les ouvrages d'exploitation de la ressource (captage et pompage). Le guide « PPR – Risques d'inondation – Mesures de prévention » recommande que la tête de l'installation de captage soit placée à 1 m (sur remblai, sur génie civil) au-dessus de la cote de la crue de référence et que les ouvrages soient conçus pour résister aux vitesses d'écoulement de la zone considérée.

Pour le pompage en rivière, l'idéal serait d'éviter d'implanter les installations de pompage (crépine, canalisation) dans le lit mineur. Mais dans les faits, le pompage en eau de surface se fait pratiquement exclusivement dans le lit mineur du cours d'eau, la prise d'eau étant calée par rapport aux basses eaux. Dans ce cas, les installations doivent être solidement ancrées au moyen d'ouvrages en béton. Le dispositif annexe non-enterré est protégé par

Tesina : Modelo para el estudio de la vulnerabilidad de los servicios técnicos urbanos frente a los riesgos naturales

un muret arasé à 1 m au-dessus du plan d'eau de la crue de référence. Par ailleurs, les équipements électriques commandant la pompe sont soit étanches, soit hors d'eau à une cote supérieure à 1 m du niveau de la crue de référence.

La position d'une prise d'eau en cours d'eau torrentiel (c'est-à-dire à capacité de charriage) doit être en section rectiligne de la rivière afin d'éviter les zones à forte érosion (extrados) et l'alluvionnement excessif (intrados).

**Ardennes.** *Des puits ont été rehaussés à Sedan.*

### **Étanchéité**

Au niveau du captage de la ressource, les têtes de puits peuvent être rendues étanches par une couche d'argile.

**Bogny-sur-Meuse.** *Suite aux inondations de 1995, une étanchéité des têtes de puits est assurée dans le périmètre de protection immédiat par une couche d'argile de 80 cm.*

**Lyon.** *Les têtes de puits sont étanches (leurs margelles sont positionnées à un mètre au-dessus des plus hautes eaux connues à Lyon), les puits sont équipés sur leur partie supérieure de « galettes » d'argile pour éviter la constitution de « renards » (entrées d'eaux le long de la maçonnerie des puits).*

## **3.2. Ouvrages d'alimentation et de distribution**

### **Localisation, mise hors d'eau, étanchéité**

Pour les ouvrages d'alimentation et de distribution, l'ensemble canalisations et joints doit assurer une étanchéité parfaite et résister aux vitesses élevées. Des vannes de sectionnement permettent d'isoler le réseau dans la zone à risque.

### **Amélioration de la résistance mécanique**

Dans les zones particulièrement exposées aux inondations rapides, il est conseillé d'ancrer les réseaux tous les 20 ou 30 mètres au sous-sol rocheux par des cavaliers de béton. Sur de nombreuses sections, il apparaît rationnel de fixer ainsi plusieurs réseaux (eaux pluviales, eaux usées, eau potable) côte à côte.

## **3.3. Installations de potabilisation**

Pour fiabiliser les installations de potabilisation, il convient d'interdire l'implantation de l'usine de traitement dans la zone inondable. La réglementation, par le biais des plans de prévention des risques inondation et des plans locaux d'urbanisme, fait souvent mention de cette interdiction.

Mais lorsque la seule implantation possible pour l'usine est en zone inondable, toutes les installations sensibles doivent être placées hors d'eau. En particulier, étant donné la dépendance forte de l'usine vis-à-vis du réseau d'électricité, son alimentation en énergie doit être sécurisée.

## **3.4. Réservoirs**

Surdimensionner les ouvrages de stockage de l'eau potable permet d'assurer la continuité du service de distribution dans la zone inondable.

### **Exemple de Saint-Jean-de-Luz Ciboure : profiter de la remise aux normes de la station de pompage pour la sécuriser**

Face à la nécessité de remettre aux normes sa station de pompage, le Syndicat de Saint-Jean-de-Luz Ciboure souhaite profiter de l'occasion pour la sécuriser. L'usine va être reconstruite, mais du fait des contraintes de terrain, elle sera établie sur le même site. Cette usine, située à la cote 7 m NGF, restera donc soumise à des submersions fréquentes, de l'ordre de :

- 0,4 m pour une période de retour 10 ans,
- 1,5 m pour une période de retour 100 ans,
- 2,5 m pour une crue semblable à celle du 26 août 1983.

Lorsque la topographie ne permet pas la réimplantation hors d'eau de l'usine de potabilisation, comme à Saintes (cf. encadré en partie 2 du document), des aménagements préventifs peuvent néanmoins être mis en oeuvre pour assurer le maintien de la distribution d'eau en période de crue.

Concernant l'existant, les installations vulnérables seront abandonnées ou employées à d'autres fonctions moins sensibles. Ainsi, les citernes d'eau traitée (actuellement menacées de submersion) seront reconverties dans le stockage d'eau pour le lavage des filtres à sable, ou le traitement des eaux sales de lavage des divers filtres.

Mais le risque de submersion de ces ouvrages demeurant, le projet tient compte également du devenir de ces réservoirs « recyclés » en période de crue :

- lorsque le réservoir d'eau de lavage sera inondé, le pompage y sera automatiquement interdit ; le lavage sera alors assuré par de l'eau traitée et le traitement de potabilisation pourra continuer sans risque ;
- lorsque le réservoir des eaux sales se remplira, elles ne pourront plus être traitées et seront rejetées directement dans le milieu naturel.

Le programme de modernisation de la station comporte la construction d'un bâtiment abritant de nouveaux réservoirs. Les dispositions relatives à ces nouvelles installations sont les suivantes :

- le plancher du bâtiment principal sera remonté à + 7,80 m NGF, afin d'être hors d'eau pour une crue de fréquence décennale,
- les nouvelles citernes et les cuves de stockage des réactifs seront étanches,
- tous les équipements électromécaniques (pompes de refoulement, pompes de dosage des réactifs,...) ainsi que les équipements électriques, seront rehaussés au-dessus de la cote de référence (crue de 1983 + 30 cm),
- le haut des décanteurs et des filtres sera remonté également à + 9,45 m NGF,
- la cote d'évacuation de l'eau en sortie des filtres à sable sera relevée afin d'éviter que l'eau de crue ne pénètre dans le réservoir de stockage situé sous les filtres et ne remonte ensuite à contre-courant dans les lits de sable,
- l'essentiel des équipements de traitement des boues sera installé au-dessus du niveau de référence (crue 1983 + 30 cm) ; l'espace inférieur du bâtiment sera laissé ouvert afin de faciliter le passage de la crue ; les bennes de récupération des boues seront arrimées par des câbles à mousquetons permettant un décrochement rapide ;
- le silo de chaux sera ancré.

Le retour d'expérience semble avoir bien fonctionné, puisque le projet de la nouvelle station tente d'apporter une solution à chacune des difficultés rencontrées. L'interdépendance vis-à-vis du réseau électrique a bien été prise en compte notamment, puisqu'elle fait l'objet d'un ensemble de mesures préventives :

- un onduleur de 15 minutes permettra de pallier les microcoupures d'électricité ;
- pour une coupure de courte durée, inférieure à une heure, le blocage des vannes des unités d'ultrafiltration sera déclenché automatiquement par l'arrêt de l'injection d'air ; les cycles de filtration ne reprendront que lorsque le courant sera rétabli ;
- pour une panne électrique plus longue, supérieure à deux heures, le processus sera le même, à la différence d'un retro-lavage de chaque bloc, qui précèdera la reprise de la filtration.

#### Coût

Le coût pour refaire la station s'élève à plus de 6 millions d'euros.

☛ Principales mesures d'adaptation des réseaux	
Ouvrages d'exploitation de la ressource (captage et pompage) et ouvrages de stockage	• hors d'eau (les champs captants sont presque toujours en zone inondable)
Têtes de puits	• Surélévation ou étanchéité

## 4 Plan de secours des exploitants

### 4.1. Exemple de Lyon

Une cellule de crise est organisée en interne, le PC est situé à l'usine de Croix Luizet, et pour des crues importantes du Rhône (> 2500 m<sup>3</sup>/s), la Compagnie Générale des Eaux participe à une cellule externe (avec le Grand Lyon et les services de la Préfecture du Rhône). À partir de ce débit, l'eau submerge les champs captants, ce qui n'occasionne pas de problèmes particuliers du fait des protections citées plus haut.

La gestion de crise pour les installations de pompage, pour une crue du Rhône, se fait en recueillant plusieurs fois par jour les données de débit de ce fleuve auprès de l'usine de Cusset gérée par EDF.

#### 4.2. Information de la population

Dans le cas où le réseau d'eau potable est atteint, les usagers doivent être informés de la mauvaise qualité de l'eau distribuée.

*Niort.* Face au risque de pollution par les inondations, le directeur de la régie des Eaux fait procéder aux analyses sanitaires nécessaires par la DDASS, et tient le public régulièrement informé de la qualité de l'eau du robinet.

Pour répondre au besoin d'information de la population concernant la qualité de l'eau du robinet, la DDASS diffusait des communiqués de prudence quant à la consommation de cette eau. Malgré la reprise de la distribution d'eau potable, la DDASS poursuit ses analyses quotidiennes, pendant une semaine, à la fin de laquelle elle tranquillisa tout à fait la population, en déclarant l'eau de nouveau potable.

### 5 Organisation pour le maintien du service et le retour à la normale

#### 5.1. Moyens de substitution

Les gestionnaires du réseau d'eau potable disposent souvent d'une **alimentation en eau de secours** : pompage en rivière, alimentation depuis une commune voisine, alimentation par des sources, usines de traitement de secours.

*Lyon.* Pour la production d'eau potable, des ressources et des usines de secours sont disponibles : d'une part le lac de Miribel - Jonage, d'une capacité de 7 millions de m<sup>3</sup>, avec l'usine de traitement de la Pape, d'une capacité de traitement de 150 000 m<sup>3</sup> d'eau par jour et d'autre part un autre champ captant maintenu en secours actif sur la nappe de l'Est lyonnais, d'une capacité de 75 000 m<sup>3</sup>/jour.

Ces usines et ressources de secours sont surtout importantes pour les cas de pollution de l'eau du Rhône, plus que pour les périodes d'inondations, car les installations du champ captant de Crépieux-Charmy ont été aménagées de telle sorte qu'elles peuvent fonctionner en périodes de crues « classiques ».

Pour assurer la continuité du service malgré l'endommagement du réseau, des **usines de traitement de l'eau provisoires** peuvent aussi être mises en place.

Dans l'éventualité d'un arrêt temporaire de la distribution d'eau potable, des solutions d'attente peuvent aussi être prévues, comme par exemple, la **distribution de bouteilles** d'eau ou bien l'approvisionnement des personnes sinistrées par des camion-citernes. Cette solution de secours implique que la voirie soit praticable pendant les inondations.

*Niort.* Le ravitaillement de l'établissement hospitalier a été assuré le jour même de la coupure d'eau par le camion-citerne d'une coopérative.

#### 5.2. Maillage

Dans l'éventualité d'un arrêt temporaire de la distribution d'eau potable, une alimentation en eau de secours peut être prévue en développant les inter-relations avec les syndicats d'eau voisins si leur ressource n'est pas affectée par la crue. C'est une mesure de prévention importante pour l'alimentation en eau potable, qui demande une organisation et des dispositions prévues à l'avance.

*Saint Jean de Luz – Ciboure.* Des interconnexions existent entre le réseau de distribution d'eau potable de Saint Jean de Luz - Ciboure et les syndicats voisins (Bayonne – Anglet – Biarritz, au Nord et Hendaye, au Sud).

*Saintes.* Depuis 1990, Saintes dispose d'une alimentation en eau de secours par l'intermédiaire du Syndicat des eaux de la Charente-Maritime. Une canalisation de 35 km de long achemine l'eau de Lucérat jusqu'à Saint-Agnan. En cas de crise grave, Saintes pourrait être alimentée en retour par l'eau du Syndicat de Saint-Agnan via cette canalisation.

### 5.3. Cas particulier de l'interdépendance avec le réseau électrique

Une station de traitement de l'eau potable peut supporter une coupure d'électricité plusieurs heures si elle est reliée à des châteaux d'eau ou à un réseau gravitaire en amont. De plus, sa durée d'autonomie est de plusieurs heures après traitement et contrôle.

Par contre, les principaux problèmes concernent les installations de pompage et de transport des eaux. En effet, la rupture d'alimentation électrique au niveau d'une pompe provoque une dépression brutale suivie d'une surpression (« coup de bélier »). Ce phénomène peut provoquer des désordres : aplatissement des tuyaux, aspiration des joints, dégradation des soudures, rupture des canalisations, etc.

La solution pour prévenir le risque lié à la rupture d'alimentation électrique réside avant tout dans la multiplication des ressources en eau potable, les interconnexions avec les réseaux d'eau voisins, mais aussi dans la diversité des points d'alimentation électrique des installations.

L'installation permanente d'un groupe électrogène permet de pallier la rupture d'alimentation électrique. Elle se définit en général à la construction de la station. Ainsi, « à Strasbourg, où l'eau potable est pompée dans la nappe phréatique et distribuée sans bassin intermédiaire, la station bénéficie d'une couverture totale par des groupes électrogènes<sup>7</sup> ».

### 5.4. Signalisation et surveillance

Il s'agit de contrôler la qualité de l'eau produite et distribuée. Si un risque existe pour la santé humaine, des restrictions d'usages peuvent être prononcées. Le cas échéant, la décision d'arrêt de la distribution relève d'une décision préfectorale.

*Lyon. En cas de crue, les consignes d'exploitation prévoient la visite quotidienne des installations d'alimentation en eau potable concernées par la crue dans le secteur de la zone inondée. De plus, un système d'astreinte et de garde avec des techniciens et ingénieurs est en place, avec un PC à l'usine de Croix - Luizet, qui fonctionne en permanence 24h/24 et 365 jours par an.*

### 5.5. Protection

Pour protéger les installations sensibles à l'eau, la première étape consiste à empêcher l'eau d'entrer dans le réseau, les installations ou les bâtiments. Il convient pour cela d'isoler les parties du réseau atteintes pour préserver celles qui ne le sont pas : par exemple, isoler les canalisations inondées du reste du réseau par la fermeture de robinet-vannes, afin de minimiser le nombre de foyers privés d'eau potable.

### 5.6. Réparations et remise en service

Avant la remise en service, le réseau d'eau potable est nettoyé et désinfecté, les parties de réseau endommagées (canalisations rompues par exemple) sont réparées.

Concernant la désinfection, surchlorer le réseau d'eau potable permet d'assurer la distribution d'une eau de qualité. Ainsi, lors des inondations de janvier 1995 dans les Ardennes, le service Environnement et Santé Publique de la DDASS des Ardennes a envoyé des lettres aux maires susceptibles d'être inondés, pour demander une surchloration des réseaux d'eau potable pendant les inondations. Le service a ensuite recherché dans les différentes communes le taux de chlore pour s'assurer que les prescriptions avaient été observées.

Le gestionnaire peut aussi prévoir des dispositifs d'arrêt automatique de la distribution lorsque l'eau n'est plus traitée (suite à une défaillance électrique, par exemple).

<sup>7</sup> Hydroplus n°140, janvier - février 2004, p.28-34

Verdel T., **Méthodologie d'évaluation globale des risques : Applications potentielles au Génie Civil**. Novembre 2000, Paris, colloque « Risque et génie civil » p23-38.

Commentaire : la méthode MADS est en fait utilisée principalement pour l'étude des risques techniques, que ce soit pour une installation nouvelle ou existante. Elle n'a pas été étudiée pour une évaluation des risques naturels, puisque le processus menant à un évènement non souhaité est le hasard.

Abstract : here is presented the two main conceptual approaches about risk analysis :MADS concepts (methodology for analyzing malfunctionings in systems) and Cindynics concepts. We expose their principles and try to explain how they can be useful in Civil Engineering.

Résumé: En France, la gestion globale des risques passe par un cadre théorique ou par un contexte conceptuel. Deux écoles donc sont proposées dans ce texte : la méthodologie d'analyse des dysfonctionnements dans les systèmes (MADS) et les Cyndiniques.

La MADS :

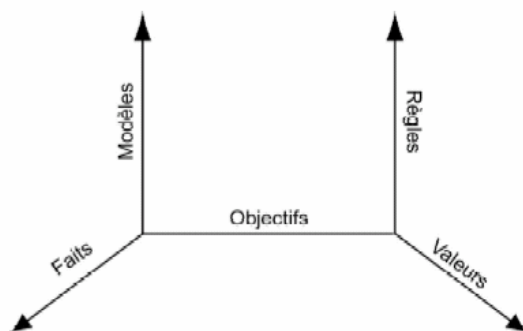
Elle a pour base la science du danger, qui consiste à appréhender les évènements non souhaités (ENS), c'est-à-dire à représenter les systèmes source et les systèmes cibles, modéliser le processus de danger et identifier, évaluer et gérer les ENS à priori (prévention) et à postériori (retour sur expérience). Ce système de classification des processus du danger permet donc de classer ces dangers selon différents points de vue (risques naturels, malveillance, sûreté de fonctionnement...)

Cette méthode permet d'identifier les enchaînements d'évènements menant à un ENS. C'est une méthode opérationnelle qui a été formalisée dans la méthode MOSAR (Méthode Organisée et Systémique d'Analyse des Risques).

Les Cindyniques :

Les principaux concepts des cindyniques reposent sur une représentation à 5 dimensions de l'espace du danger.

- les faits sont la mémoire de l'homme et les statistiques.
- Les modèles sont élaborés à partir de faits, c'est une banque de connaissances servant aux calculs.
- Les règles représentent les normes, les lois...c'est l'axe déontologique.
- Les valeurs représentent les priorités, le système de valeur.
- Les objectifs, sur l'axe central, permettent à chacun des acteurs d'explicitier sa stratégie .



Pour chaque réseau ou acteur du danger il faut donc réaliser un état des lieux de ces 5 dimensions. Puis, il faut analyser et comparer les états des lieux des différents acteurs afin de voir s'il y a des déficits dans l'un des espaces, des disjonctions et des dissonances. Ainsi on peut repérer la source du danger.

La cindynique est une approche plus théorique du risque qui est applicable à la plupart des domaines des risques.

Figure 2 Hyperespace du danger, (Verdel, 2000)

Hall J., Meadowcroft I., Sayers P., Bramley M., **Integrated flood risk management in England and Wales**, *Natural Hazards Review*, Vol 4, N 3, Aout 2003, pp126-135.

Commentaire: article présentant un état actuel de la gestion du risque inondation et proposant une gestion intégrée des risques avec les mesures à prendre pour pouvoir l'appliquer. Même si le contexte local n'est pas identique au contexte français, les propositions sont en partie applicables en France.

Abstract:

“The flooding system includes the physical process of flooding, the inhabitants of floodplains, their infrastructures and ecosystems, and the people and organizations in the public and private sector that influence or are subject to flooding and its impacts. Flooding systems are continuously changing because of natural and socioeconomic processes, as well as activities that are intended to reduce flood risk. Flood risk management is the process of data and information gathering, risk assessment, appraisal of options, and making, implementing, and reviewing decisions to reduce, control, accept, or redistribute risks of flooding. Integrated flood risk management explicitly recognizes the interrelationships between all risk management measures, and their analysis, costs, and effectiveness, within changing social, economic, and environmental contexts. It can be helped by improving access to data and models, sharing and communicating risk analyses, involving a wider range of stakeholders, and coordinating risk management actions. Flood risk management in England and Wales is rapidly changing. This paper explains these changes in terms of their contribution to integrated flood risk management and describes further developments that are required to enable the difficult task of integrated flood risk management to be realized in practice.”

Résumé:

Malgré l'intervention de nombreuses institutions au niveau de la gestion du risque inondation, le printemps 1998 et l'automne 2000 ont vu apparaître des inondations importantes causant de lourds dommages en Angleterre et au pays de Galles. Un bilan a été tiré de ces inondations :

- De manière générale, la gestion du risque inondation se fait en Angleterre et au pays de Galles de manière fragmentée : le système d'écoulement n'est pas considéré dans son entier.
- 10% de la population anglaise et l'équivalent de 200 billion £ sont localisées en zones inondables ou érodables : les investissements sont donc « rentables » à terme.
- Le risque d'inondation augmente de part l'urbanisation des plaines inondables ces 50 dernières années.
- Entre les années 70 et les inondations de 1998, il y a eu très peu de campagne de sensibilisation du public aux inondations.

Une description des éléments clef des inondations est faite, avec une énumération des phénomènes entrant en jeu : phénomènes physiques (pluie, fonte des neiges, vents, eaux souterraines), phénomènes dus aux transformations humines (drainage, bassins de stockage, digues...), les éléments économiques, sociaux, environnementaux, les institutions responsables de la gestion des risques, les assureurs.

Étant donné la complexité des phénomènes en jeu, il n'est pas possible de prendre en compte une partie seulement des phénomènes entrant dans le processus d'inondation, d'autant plus qu'il a été mis en évidence ces dernières années que les événements antérieurs et les interactions jouent un grand rôle dans l'occurrence de la catastrophe.

Le management intégré du risque inondation, est caractérisé par :



- Large définition du système d'inondation et de ses impacts.
- Prise en compte de l'ensemble des données du système, de manière continue dans le temps
- Prise de décision itérative et management du risque en cascade du plus haut niveau de décision au plus bas.
- Prise en compte la plus large possible des impacts des décisions sur le système.
- Développement de stratégies intégrées, avec prises en compte des rôles et décision de chacun des acteurs.
- Faire évoluer l'organisation des systèmes de veille et d'intervention.

Le problème de ce management intégré est la récupération des données de chacun des acteurs et leur coordination.

En effet, le système support de cette gestion doit permettre de prendre des décisions, et doit donc être performant. Il ne s'agit pas uniquement de traiter des données pour un retour sur expérience : les enjeux sont beaucoup plus importants.

Il s'agit donc de créer un système de prise de décision comprenant:

- La collecte de données et son analyse,
- Des guides et connaissances de bases mettant en place une méthodologie d'appréciation des risques (basées sur le retour d'expérience et des recherches)
- Des systèmes de modélisation permettant de comparer des scénarii d'action.
- Une représentation des incertitudes liées aux modélisations, données...
- Un système de contrôle en temps réel et d'alerte
- Une interface SIG permettant de communiquer rapidement les résultats aux différentes personnes prenant les décisions, aux élus, aux secours et aux populations.

Ce système ne sera efficace qu'une fois les changements organisationnels effectués.

Bisso M. et al., **A rapid method to assess fire-related debris flows hazard in the Mediterranean region : As example from Sicily (southern Italy)** , *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 2005, Vol7, pp 217-231.

**Commentaires** : Cet article fait un récapitulatif assez sommaire des méthodes utilisées pour identifier les zones possédant un risque d'incendie et pour définir des classifications géographiques de vulnérabilité aux éboulements ou mouvements de terrain consécutifs aux incendies. Ces méthodes se basent sur des méthodes statistiques (stochastique models) et des relations empiriques. Les données d'entrée sont des images multi temporelles (ETM) des aires étudiées, et les résultats de sortie sont des cartes géographiques de vulnérabilité aux incendies ou aux mouvements de terrain conséquence de ces derniers. Ces méthodes sont dirigées aux communautés urbaines ou conseils généraux.

The article treats the relationship between fired areas and the debris flow hazard. It uses multitemporal images in order to evaluate potential of burned areas as the source of debris flows and evaluate the structure exposed to potential damage by debris flows. Finally using stochastic model coupled with an empirical relationship, which accounts for the mobility of the debris flows, evaluate the hazardous areas is done.

Fired-related debris flows represent a particularly acute problem in areas with steep slopes. A decrease in water infiltration capacity produces an increase in superficial runoff and rain splash erosion. Debris flows can be initiated from either surface runoff or from soil saturation producing shallow landslides. Years later, the decay of the root systems in the soil enhance water infiltration produces a loss of mechanical cohesion promoting shallow landslides. However; erosion process after a wildfire depends on local climate conditions.

Post-fire erosion depends on many factors including: fire intensity, soil typology, previous land use and cover, local morphology and climate and upslope contributing area. Very often the gathering of this information is difficult due to the high frequency of fires. To overcome this problem a methodology is proposed: asses the source areas of fire related debris flows and define in consequence the areas potentially impacted by these flows.

The aim of this method is to classify the burned areas on a consideration of: the ability of burned areas to generate debris flows and the potential risk posed to areas potentially impacted by the resulting debris flows. This method only provides a general approach where the hazard and risk estimation have to be focused and refined according to more sophisticated methods. However; it can stigmatically reduce the cost and time expended on more detailed and sophisticated analyses over large areas.

The first point of this methodology is the identification of burned areas by LANDSAT Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) images. This method is based on the reflectance of short wave infrared (SWIR) and near infrared (NIR) exposure to soils. The result electromagnetic spectrum allows identifying burned areas. Pre- and post-fire differences in the ratio of the mid-infrared to near infrared signal (band 4 for NIR and band 7 for SWIR), can provide an effective means for detecting and delimiting burn scars. All these images have been orthorectified by terrain correction algorithms providing a pixel resolution of 30 m.

Burn scars are then identified by applying the following normalized ratio index and comparing the result from sequential images:

$$\text{IFIRE} = \frac{\left( \frac{\text{band 7}}{\text{band 4}} \right)_{\text{pre}}}{\left( \frac{\text{band 7}}{\text{band 4}} \right)_{\text{post}}}$$

Figure 3 : IFIRE formula (Bisso M. et al, 2005)

IFIRE will define the probability of having a fire depending on band 4 and band 7 of infrared spectrum, done before and after a fire event happens in the study determined area.

This index is very sensible to any change in vegetation cover. If no fires occurred during the period investigated IFIRE will be close to 1 and will be less than 1 if a change in vegetation occurs so the probability of having a fire increases.

A fire mask is then built in which pixels having IFIRE index values less than 0.5 are considered affected by fire. Even if the method produces good results, some classification errors were encountered.

The second phase is to classify the burned areas according to their susceptibility to generate debris flows, the maximum expected debris flow volume is estimated. Since data are not available, debris flows are considered to be mainly triggered by landslides and all potentially unstable areas will be assumed to produce a single debris flow.

Two main parameters are considered as the most important for triggering shallow landslides evolving in debris flows, and in this paper they are used for estimating the hazard potential of post-fire debris flows: slope and hill slope curvature. Debris flows are more frequently associated with slopes between  $>11^\circ$  and  $>25^\circ$  and concave hill slope because they tend to concentrate surface runoff or subsurface drainage promoting erosion and soil saturation. The final classification assumes that slope is the primary factor influencing local instability, followed by concavity. In this approach an upper limit slope is not used.

Finally an estimation of the potential debris flow inundation zone will be done using the maximum expected flow volume.

The volume of debris flows will be calculated assuming 2m as the depth of the unstable portion of the soil cover for all burned areas. This approach assumes at least 2m soil thickness is present over all burned areas. From the volume we will be able to calculate the total travel distance (L) of debris flow from the source areas.

$$L = 30(V\Delta H)^{1/4}$$

Figure 4 : Total travel distance (Bisso M. et al, 2005)

Where  $\Delta H$  (m) will be the difference in altitude between the source zone and the toe of the debris flows.

A stochastic method, (probabilistic model which has a random evolution in time), DEFLOW; will provide the maximum inundation zone. It is a numerical code which delineates inundation areas by computing paths of steepest descent on a DEM (Digital Evaluation Model). A number of maximum slope paths (N) are evaluated with a length defined in the equation above. The geometrical envelope of all simulated paths produces the "maximum" area exposed to debris invasion.

Once these areas have been delimited the location of exposed structures (houses and roads) is identified using digital orthoimage obtained from a digital elevation model and a GIS (Geographical Information System).

At final step a spatial potential risk classification will be done, dividing the vulnerable areas in three classes: Class 1 (areas of potential impact in which buildings are present), Class 2 (areas of potential impact that contain only roads) and Class 3 (impact zones that contains no structures). We can create hazard maps showing this classification.

Table 4  
Parameters used to define different classes of hazard potential

Hazard classification				Classified areas			
Class	Areas (km <sup>2</sup> ) with slope >25°	Subclass	Concave hillslope with slope >25° (km <sup>2</sup> )	Area (km <sup>2</sup> )	% <sup>a</sup>	No. of fires	% <sup>a</sup>
A (Very high hazard potential)	>0.19			0.98	2.7	2	0.5
B (High hazard potential)	0.095–0.19	B1	>0.06	0.56	1.6	2	0.5
		B2	<0.06	0.74	2.1	5	1.3
C (Medium hazard potential)	>0–0.095	C1	0.05–0.075	0.37	1.0	3	0.8
		C2	0.035–0.05	1.52	4.2	11	2.9
		C3	0–0.035	16.13	45.2	180	47.7
D (Low hazard potential)	At least 0.2 km <sup>2</sup> with slope >11° but <25°			15.42	43.2	175	
Total				35.72	100	378	

The table gives the total area (km<sup>2</sup>) and percentages of each identified classes of debris flow hazard potential, the number of fires included in each classes and related percentages respect to the total number of fires identified.

<sup>a</sup> Percent of total.

**Figure 5: Hazards classification (Bisso M. et al, 2005)**

The approach proposed is a preliminary classification and has several limitations. Three main points should be stressed: it doesn't consider the fire intensity, it only considers landslides as triggering factor of debris flows, it makes a general overestimation taking the maximum expected volumes to define the debris flows volumes, and the use is limited to areas where detailed data is not available.

Pasuto A. and Soldati M., **An integrated approach for hazards assessment and mitigation of debris flows in the Italian Dolomites**, *Geomorphology* 2004, Vol61, pp 59-70.

**Commentaires** : Cet article donne une approche claire des analyses à faire dans le but de réduire les vulnérabilités d'un mouvement de terrain. Il propose comme données de l'étude des données physiques mesurables (analyse structurale et volumétrie des débris, photographies aériennes, pente, intensité et fréquence des pluies...). Au travers d'une analyse multicritère, ces données vont permettre de faire un constat des risques. Comme résultat de cette analyse multicritère, on obtient une constatation qualitative des risques exprimés au travers d'une carte géographique avec différents niveaux. En conclusion, des mesures pour réduire la vulnérabilité sont proposées pour l'étude de cas de Cortina d'Ampezzo (Dolomites). Cet analyse peut être réutilisée par des communes ou bien des conseils généraux.

This paper shows the results of research on debris flow occurring in the territory of Cortina d'Ampezzo (Dolomite, Italy) where it causes a significant threat to an intensive developed area, typical of the alpine valleys.

These debris flows occurs specially in summer when the region is visited by a large number of tourists. In these conditions of high vulnerability mass movements of even modest magnitude can have fatal consequences.

This study traits the problem from an integrated approach that accounted for the geomorphological, geostructural, pedological and forest-management aspects of the area. A deep historical-bibliographical investigation, interpretation of multi-temporal aerial photographs, and analysis of meteorological data were also done to complement the study of the debris volumes potentially removable in the source area.

Everything was done on the target of predicting and reducing the hazards and risk conditions in order to suggest some preliminary mitigation measures.

The geomorphologic analysis has been carried out to determine the main characteristic of the source area, flow channel and fan area of the debris flows. This allowed the expected volumes of displaceable materials and the possible tracks of future flows to be forecasted.

The structural analysis of the rocks, cropping out in the debris-flow source area, determined the quantity of debris and the concentration of water flow resulting from intense rainfall. The analysis of discontinuities on the slopes, carried out in situ and through aerial photos, had the purpose of determining the rock-unit volume by means of the intercept of the tectonic-structural discontinuities, since this parameter directly influences the mobility of the rocks masses. These photographs can also allow the reconstruction of recent geomorphologic evolution showing, for example, the inactivity of some debris-flow channel.

A particle size analysis can determine the sedimentary or not character of the debris-flow fan in order to determine the geomorphologic evolution as the rehological behaviour of debris flows in the studied area.

The pedological and forest-survey analysis were not particularly significant on a long-term basis. It was only relevant as a confirmation of some historical-bibliographical analysis, and as the attestation the frequency of debris accumulation.

The meteorological conditions of the area can be considered as both preparing causes and triggering causes of debris flows. These meteorological conditions can be affected by the orography of the debris-flow source area.

The main target of this multi-criteria analysis is the hazard and risk assessment. The debris-flow hazard is linked to predisposing factors such as:

- Availability of material, favoured by intense tectonisation of the rock walls and the intense weathering processes, in particular frost shattering
- Slope morphology characterised by: high slope gradients in the source area, overhanging steep rock walls, deep channel across the fan and several feeders channels in the accumulation area.
- Intense rainfalls, frequency of occurrence of debris flows in the area in recent times and the large amount of debris available.

The non-homogeneous time distribution of dated events makes the assessment of debris-flow recurrences intervals quite difficult to qualify. The only variable to be considered is the volume of debris that could be mobilised. On the basis of frequency and intensity of the debris flows a qualitative hazard assessment was carried out and a map of risk level areas was created. Three levels of risks were identified and mapped (high, medium and low).

Several mitigation measures in order to reduce the hazards, their effects and the vulnerability, have been taken in account:

- The construction of two embankments, located uphill and downhill of the risk area were built to contain volumes of material comparables to the last biggest debris-flow. A trench was dug upstream each embankment in order to improve the efficiency of these works.
- On the basis of geomorphological effective measure, diversion of the debris-flow track towards less vulnerable areas was proposed (old quarry). A digital elevation model of the slope was elaborated and depressions suitable for storing large debris volumes were identified. A excavated canal was proposed to channel the debris to the storage area. A construction of a discharge channel under a road channelling the debris to other less vulnerable areas was proposed as alternative measure.
- Vulnerability reduction measure for the road can be thought as a traffic lights system that prevents the drivers from a possible debris-flow. However, reduction measures for the constructed areas are less efficient, in consequence a possibility of removing the buildings and transferring them to safer areas is considered by local authorities.

To sum up this article traits the debris-flow risk from different approaches showing which have been more useful for the ulterior risk assessment. It also propose some interesting hazard reduce measures.

Ayalew L. et al., **Landslides in Sado Island of Japan: PartII. GIS-based susceptibility mapping with comparisons of results from two methods and verifications**, *Engineering Geology* 2005, Vol81, No 4, pp 432-445.

**Commentaires** : Cet article fait une comparaison assez complète entre les méthodes AHP (Analytical Hierarchy Process) et la régression logistique, méthodes calculatoires utilisées dans l'objectif de créer des cartes de vulnérabilité. Elles servent à réduire les risques d'occurrence des mouvements de terrain. Les données d'entrée sont des données physiques (élévation, lithographie et pentes), données stockées SGI, photos aériennes, cartes topographiques... Et les résultats sont des cartes géographiques des niveaux de risque. On trouve des problèmes dus à la subjectivité sur laquelle les facteurs d'analyse sont choisis pour l'étude, qui peut produire une incrédulité sur ce genre de méthodes.

This article presents the slope instability research and susceptibility mapping as the fundamental component of hazard management and important issue for proposing measures aimed at decreasing risk of landslides. This study is placed in the rugged topography of the island of Sado, specially the north-eastern part called Kosado, where from result of intensity rainfalls and rapid snowmelt new landslides appear quite often.

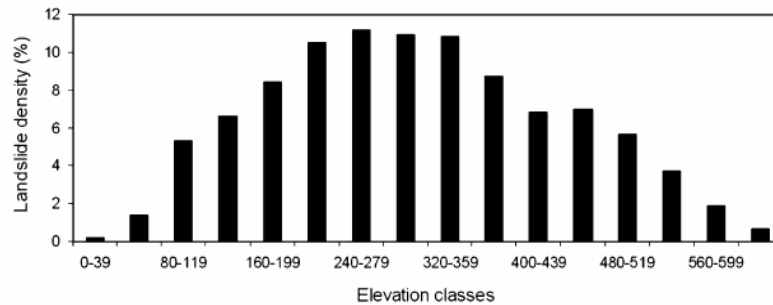
In the area where landslides are triggered by rainfall, the prediction of the precise locations of instability is much more difficult due to uncertainty concerning the temporal distribution of rainstorm, which affects the result of hazard assessments. It also depends on important factors such as geology, slope gradient, aspects, elevation and land use.

For the preparation of the landslide susceptibility maps the article study and compares two methods: analytical hierarchy process (AHP) and logistic regression, which each being preceded by a bivariate statistical analyse (BSA) to determine the class weights or landslides densities. Both models are developed taking elevation, lithology and slope gradient as variables in the study.

The use of GIS (Geographical Information Systems) is proved to be very important for the mapping due to the large amount of data to deal with. These maps are prepared from landslides inventory maps, which at the same time are based on aerial photos and topographic maps, a largely empirical technique. All the problems of credibility of susceptibility maps will come from this factor.

The occurrence of the landslides will be a random process in time; therefore, the focus should be on the recognition of prone areas which can be achieved by susceptibility maps. Hazard maps will be a step of several steps ahead of susceptibility maps, which is expected to portray the scale of hazard and the slope failures that cause or contribute to a disaster.

AHP and logistic regression will be preceded by bivariate statistical analyses (BSA) to determine the class weights or landslides densities. Using BSA is simply to assign class weights for each category of the parameters considered. To do so, the landslide inventory map was combined with thematic layers to compute the number of landslides pixels lying on each class of the three parameters. We will express this pixel coincidence as "landslide density" which can be shown as a statistical distribution:



**Figure 6: Statical distribution of landslide density (Ayalew L. et al, 2005)**

The form of BSA used is the information value method without the natural logarithm and standardized to percentages. Class weights are normally computed for discrete data, in the case of the article, lithology is discrete while slope and elevation are considered to be continuous.

The simplest and fastest way to categorize the continuous data would be to look at how the class weights for the discrete parameters are distributed. In this case, the class weights of the parameter lithology served as a reference for categorization.

We will find a landslide density table:

Table 1  
Landslide densities computed for classes of lithology, slope gradient and elevation parameters. The description of lithological symbols can be seen in Fig. 4

Lithology	Density	Slope gradient (°)	Density	Elevation (m)	Density
GSMH	0	0-2	1	0-39	0
TR-R	14	3-7	9	40-79	1
KYD	11	8-12	15	80-119	5
SA	10	13-17	16	120-159	7
GSMP	0	18-22	12	160-199	8
PCsm	3	23-27	10	200-239	11
Twt	3	28-32	7	240-279	11
SApy	7	33-37	6	280-319	11
Tm-Sm	2	38-42	5	320-359	11
D-Rpy	18	43-47	4	360-399	9
ORsm	1	48-52	4	400-439	7
TS-NM	0	53-57	5	440-479	7
Am	0	58-62	6	480-519	6
KYDpy	15	63-67	0	520-559	4
OA	2	-	-	560-599	2
ORcg	14	-	-	600-642	1

**Figure 7 : Landslide density table (Ayalew L. et al, 2005)**



To get factor weights in AHP one has to build a pare-wise comparison matrix with scores, given in the following table.

Table 2  
Scale of preference between two parameters in AHP (Saaty, 2000)

Scales	Degree of preferences	Explanation
1	Equally	Two activities contribute equally to the objective.
3	Moderately	Experience and judgment slightly to moderately favor one activity over another.
5	Strongly	Experience and judgment strongly or essentially favor one activity over another.
7	V. strongly	An activity is strongly favored over another and its dominance is showed in practice.
9	Extremely	The evidence of favoring one activity over another is of the highest degree possible of an affirmation.
2, 4, 6, 8	Intermediate values	Used to represent compromises between the preferences in weights 1, 3, 5, 7 and 9.
Reciprocals	Opposites	Used for inverse comparison.

Figure 8: Scale preference between two parameters in AHP (Saaty, 2000)

The weights are then considered as the average of all possible ways of comparing the casual factors.

Table 3  
The pair wise comparison matrix, factor weights and consistency ratio

Factors	Elevation	Lithology	Slope	Weight	CR
Elevation	1	1/3	1/2	0.1692	0.02
Lithology	3	1	1	0.4434	
Slope	2	1	1	0.3874	

Figure 9 : Pair-wise matrix (Saaty, 2000)

This method is a subjective method due to this pair-wise classification based on the expert judgements.

Based on these weights, and with GIS help, we will combine thematic layers corresponding to each parameter and multiplied by their weights, in order to detect the geographic points where we will find the maximum risk rate.

These points will create susceptibility maps where risk levels will go from 0 to 1, depending on the probability of having or not a risk.

In the case of logistic regression the idea is to find the best function to describe the relationships between the presence or absence of landslide and a set of “densities” corresponding to these independent parameters (lithology, slope gradient and elevation, in this case). These densities are defined from the BSA model defined above.

We will find this kind of function:

$$Y = -1.60329 + 0.01123 * \text{Elevation} + 0.05118 * \text{Lithology} + 0.07237 * \text{Slope}$$

**Figure 10 Hazard function (Ayalew L. et al, 2005)**

In this equation Y represents the logic regression of the probability of having a landslide:  $Y = \ln\left(\frac{p}{1-p}\right)$  where p will represent the probability.

This method will assign to each parameter a weight, as AHP, for the posterior creation of susceptibility maps.

This method will be based on stocked data corresponding to old landslides and their frequency. It doesn't take on account the expert judgement.

Looking at the two susceptibility maps created from the AHP method and the logistic regression one there are places where differences are subtle. With the AHP method we will be able to classify more areas as high susceptibility. From logistic regression more areas can be designated as medium susceptibility. The authors think this is due to the distribution of the data; the logistic regression follows a normal distribution after classification in five susceptibility levels. Besides, the AHP histogram is negatively skewed indicating that more areas will fall into high susceptible zone. The reasons are linked with the theoretical basis of the two methods.

The following graph will show how the maps done by the AHP method and the logistic regression fit on the landslide activity map (by the number of pixels), in relation to the different susceptibility cases.

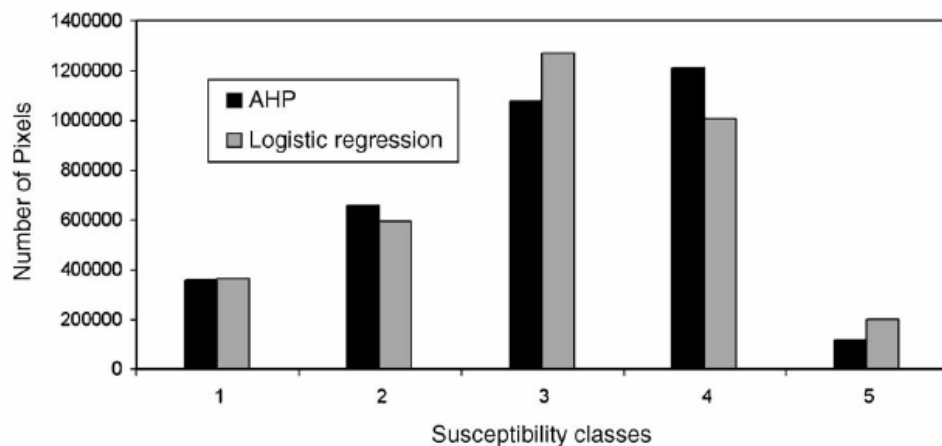


Fig. 8. Bar graphs showing the relative distribution of susceptibility levels when the susceptibility maps are classified on the basis of standard deviations.

**Figure 11: Relative distribution of susceptibility levels (Ayalew L. et al, 2005)**

In order to verify the practicality of the results, a comparison was made between the two susceptibility maps and a landslide activity map of 18 active zones of recent landslides. Portions of many of the active landslide zones lie on the locations of old landslides. This indicates that a significant number of recent landslides might be reactivations of old mass movements.

Many of the active landslides zones failed to fall into the very high susceptibility areas. A extend of active landslide zones located on the very high susceptibility class is higher on the map of logistic regression than in the AHP equivalent. But 61 % of the active landslide zones fall into the high susceptibility class of the AHP map. Besides, 49% of the active landslide zones are considered as high susceptibility in the case of logistic regression.

To conclude for very high and high susceptibility classes the AHP map covers 70% of the active landslide zones, better than the corresponding counterparts of the logistics regression map (63%). This might be due to the subjective judgement basis on which are determined the pair-wise comparisons entered as input. Because they pay attention on the timely site-specific conditions, and are sometimes fine. Logistic regressions are based on the spatial distribution of old landslides, with an assumption that the historical frequency of past landslides in an area can provide an indication on the future probability.

Despite the interest landslide susceptibility maps usually fail to get appreciations. Problems inherent from landslides guidelines to select casual factors are the main cause to get them non-credible. Finally both methods, AHP and logistic regression, can equally be important for all sorts of susceptibility zoning practices.

Lambert H. et al., **Tracking the Complexity of Interactions between Risk Incidents and Engineering Systems**, *Syst. Eng*, 2005, Vol8, pp 262-276

**Commentaires :** Cet article développe une méthode pour définir l'influence des interactions entre les composants du système, sur le calcul de probabilité de risque. Cette méthode se base sur un procédé statistique (SPC : Statical Process Control) et la méthode EWMA (Extended Weigthed Moving Average). Nous allons définir les situations de risque à partir de la probabilité et la fréquence des interactions, et les incidents déjà produits dans les systèmes. Est une méthode assez complexe qui donne comme résultat des interaction du système qui produisent des situations de risque. Cette méthode est dirigée au personnel spécialisé.

This paper develops an automated detection of anomalies in an evolving set of incidents associated with engineering systems. A statistical process control (SPC) and a Exponential Weighted moving Average (EWMA) were adopted to analyze a sequence of incidents reports.

These methods serve to compute the event combinations which have a direct or indirect interaction with system anomalies. Once the interaction is found, we will determine which combinations produce risk. On this target we will define concepts as *interaction entropy* and *interaction informativity*.

The overall approach of this technique can be explained by the following graph: we start with the definition of a risk system, we follow with the specification of system factors interactions, and we finish with classification and quantification of these interactions by a frequency analysis.

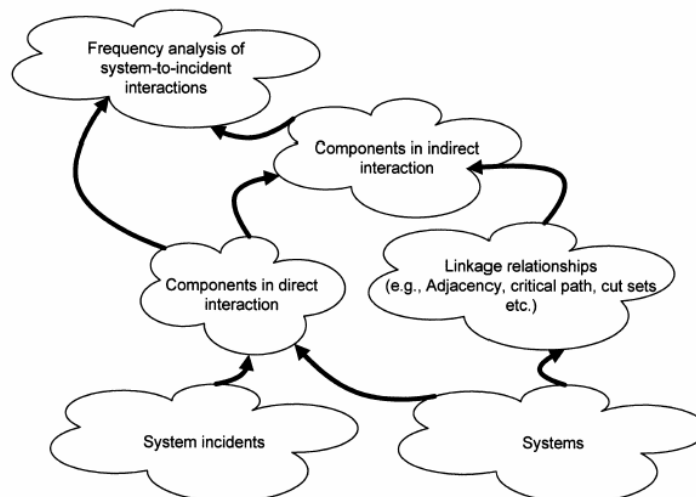


Figure 2. Identification of components in direct and indirect interaction with incidents and generation of frequency diagrams of direct and indirect interactions.

Figure 12: System-to-incident logic structure (Lambert H. et al., 2005)

To characterize the system we will define the following parameters, defining the relations between system components and their failures:

$c_j \in \mathbf{C}$ , where  $\{j = 1, \dots, J\}$ .  $c_j$  representing the number of components of the system

$s_k \in \mathbf{S}$ , where  $\{k = 1, \dots, K\}$ .  $s_k$  representing the number of incidents

$d_k = \mathbf{D}(s_k)$  where  $\{k = 1, \dots, K\}$ .  $d_k$  representing the components in direct interaction with the system incidents

$l_m \in L$ , where  $\{m = 1, \dots, M\}$ .  $l_m$  representing the set of linked components in the system interested

$i_k = I(s_k) = \bigcup_{m=1}^M c_j \in l_m : l_m \cap D(s_k) \neq \emptyset, c_j \notin D(s_k)$ ,  $d_k$  representing the components in all linkage relationship with the components that are themselves in a direct relationship with the incidents.

$t_k = T(s_k) = I(s_k) \cup D(s_k)$ , where  $\{k = 1, \dots, K\}$ ,  $t_k$  representing the set of components in interaction with the incident.

$p_n \in P(t_k) \subseteq P(C)$ , where  $\{n = 1, \dots, N\}$ ,  $p_n$  representing all the possible subsets of a particular  $t_k$  which is defined as the set of components in interaction with the incident.

$$\eta(p_n) = \sum_{k=1}^K \begin{cases} 1 & \text{if } p_n \in P(t_k) \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

$\eta(p_n)$  is the operator which counts the number of incidents in with the subset occurs. A high  $\eta(p_n)$  indicates a possibility for a risk scenario

We will then associate these combinations of the system components and the system failures, as the table below shows:

$s_k$ -Incident	Description of Incident	$D(s_k)$ -Components in direct interaction	$I(s_k)$ -Components in indirect interaction
5001000	Fire in a crude oil tanker at Mountain View	c024221, c078893, c089753, c022984, c025154, c045603	c064987, c037003, c058405, c489711
5000004	Fire in crude oil tanker on railway shuts down highway	c024221, c078893, c064987	c089753, c022984, c025154, c045603
5023008	Toxic chemical release in NYC bus terminal	c012097, c000200, c000875, c080456, c068355, c090422	
5024690	Leak detection in software failure at San Jose	c721902, c242809	
5765123	Emergency exit door left ajar	c039545	c072787, c072666, c067548
5443872	Electrical short near vending machines	c072787, c072666	c039545, c067548
5829304	Web server crash	c067548	c039545, c072787, c072666
5111625	Shunted power supply, resulting crash of servers	c039545, c072666, c067548	c072787

Figure 13 : Combinaison composants/ anomalies (Lambert H. et al, 2005)

Frequency histograms will be used to highlight the most prevalent counts of components combinations and therefore suggest the extent of what is known about the risk to

a particular system. The graph below shows the list of system components in terms of their occurrence frequency:

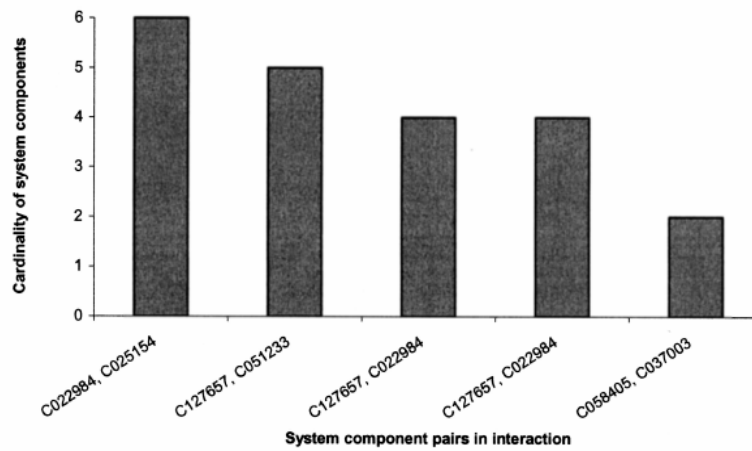


Figure 14 : Composants/ occurrence frequency graph (Lambert H. et al, 2005)

With a sequence of incident reports associated to the affected system components, an automated analysis will be used. It consists in a statistical process control (SPC), which involves the characteristics of the process and identifies what incidents and components are the sources of the instability in the evolving knowledge about the analyzed system. Process characteristics should be selected such that their fluctuations can be predictive of anomalies (outlines, trends, cycles...).

Once the failure sources have been defined we will use a EWMA track process which will be able to quantify the probability of risk occurrence. EWMA is a statistical method based on the computation of an average from the average of the consecutive combinations of system components, it changes with time.

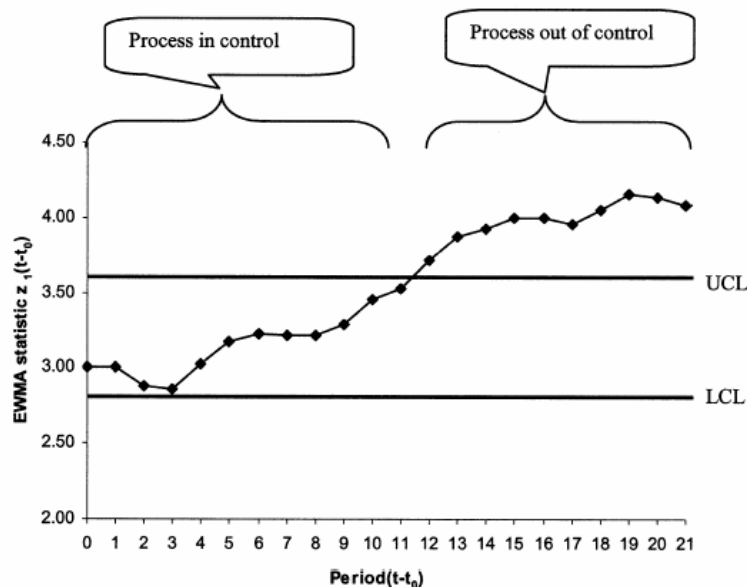


Figure 15 : EWMA method graph (Lambert H. et al, 2005)

The graph above shows the EWMA statistic for each combination of system components. The authors define an upper and lower bounds, from failures that overpass these boundaries will be considered as triggering factors of a system out of control.

Different indicators as interaction entropy and interaction informativity have been developed for searching the system instability.

The *interaction entropy* will be defined as a measure of the complexity in a set of interactions of the interest. Is defined as:

$$x_1 = \sum_{n:p_n \in \bar{p}} (-f_n)(\log f_n),$$
$$f_n = \frac{\eta(p_n)}{\sum_{\tilde{n}:p_{\tilde{n}} \in \bar{p}} \eta(p_{\tilde{n}})} .$$

**Figure 16 : Interaction entropy (Lambert H.et al., 2005)**

$f_n$  is the relative frequency of the nth subset of components  $p_n$ . It is expressed as the ratio of interaction count of the subset  $p_n$  to the total interaction count of  $\bar{p}$ .  $\bar{p}$  as the set of interaction of interests.

The *interaction informativity* is defined as: It measures the variation of the complexity measure as a new incident is introduced in the system:

$$x_2(t+1) = x_1(t+1) - x_1(t).$$

**Figure 17 : Interaction informativity (Lambert H.et al., 2005)**

The same process can be applied for infrastructures interaction in different risk scenarios. The only difference with the actual analysis is that we have as result the combination of systems that will produce a failure.

The following figure summarizes the iterative stage for analyzing incident reports relating to engineering systems.

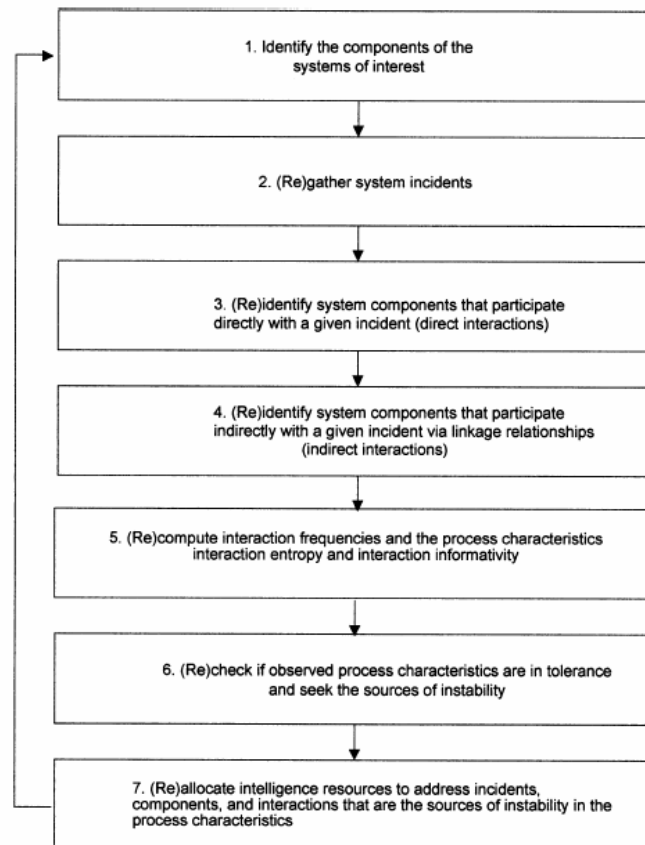


Figure 3. Risk identification algorithm for detecting and responding to knowledge about risk to systems.

**Figure 18: Risk identification algorithm (Lambert H. et al., 2005)**

This identification and investigation of risks will serve to set measures in order to reduce the system failures. The decision of setting in these measures will depend on resources needed for it.

To sum up this article summarizes the streamline of the definition of the interactions that associate system incidents with system components developing an approach grounded in statistical process control.



Lambert H. et al., **Terrorism Scenario Identification by Superposition of Infrastructure Network**, *Syst. Eng.*, 2005, Vol8, pp 211-220

**Commentaires :** Cet article développe une méthode pour définir l'influence des interactions entre des systèmes différents dans différentes situations de risques, spécialement par rapport aux risques liés au terrorisme. Est basé sur le même principe que *System-to-Incident* développée par Lambert (2004), mais la seule différence va être au niveau du résultat. Nous allons trouver des variables ou ensemble de variables du système, qui vont donner lieu à un comportement anormal dans le système, à la place de tout simplement composant du système. Elle va être aussi dirigée aux spécialistes.

This article treats the risk identification by the superposition of infrastructure networks. The article presents at the beginning an overall approach about the risk describing the different stages of the scenario-analysis process with superpositioned networks. The two following sections treats the technical development identifying a set of terrorism scenarios that confort multiple and interdependent networks, and will give some examples about this.

A last part describes some potential applications of the developed method of network superposition and gives some directions for further research.

The overall approach to analyse the superposition of infrastructure networks will be divided in nine different stages.

**Table 1.** Terrorism Scenarios Correlated to Interdependent Infrastructure Networks

Terrorism scenario	Description	Direct interactions		Indirect interactions							
		Nodes	Arcs	Nodes			Arcs				
				$q_1$	$q_2$	$q_3 \dots$	$q_1$	$q_2$	$q_3 \dots$		
TS <sub>0000</sub>	As-planned scenario	All	All		All				All		
TS <sub>0005</sub>	Bombing of an oil	A4,A3,B5, B6,C6	(A4,A3),(B5,B6), (C4,C6)	A1,C5					(B6,B7)		
TS <sub>0007</sub>	Bombing a power station pipeline section	D3,C1,E10	(C1,C4),(E4,E10)		D2			(C1,C4), (E11,E10)			
TS <sub>0008</sub>	Cyber attack on personnel records	F7,Z5,B5,G2	(C2,C5),(F5,F7), (C3,C5)		F3,ZB						(Z6,Z7)
⋮											
TS <sub>0202</sub>	Theft of maintenance identity card	H1,J6	(H1,H5)			15,J7		(15,I6), (J7,J8)			
TS <sub>0030</sub>	Contamination of drinking water supply	K2,L3,OB	(K3,K4),(O6,O8)		L2,O7			(K3,K5), (L4,L5)			

**Figure 19:** Terrorism scenarios correlated to interdependent infrastructure networks (Lambert H. et al., 2005)

The first one is the specification of the networks. In this stage we will study the interdependence with another systems (physical or non physical systems), as well as the modes and connecting areas of the network.

Secondly we will identify the set of risk scenarios by surveillance information, modes of failure of infrastructures or incident reports ... and we will classify them by a multi criteria analysis giving them an index.

Once the networks and risk scenarios identified we will specify the direct and indirect relations between the networks and the risks. The indirect relationship will determine the interdependencies between infrastructure systems and will characterize the linkage across the networks. These indirect relationship will result in intersecting sets of system components.

We will determine the frequency of direct our indirect interactions by functions as “*interaction entropy*” and “*interaction informativity*”, Lambert (2004). This frequency of interaction will be measured by the number of occurrence of a particular interaction.

We will use SPC models (Statical Process Control) to perform a frequency analysis of the interaction. In this way we will calculate control limits (upper and lower limits) using historical information of the network and risk-identification process.

Performing this control we will check if the process variables are in the tolerance intervals. And we will identify the anomalous behaviours. In consequence we will relocate resources to identify the causes. Then a decision of setting new security process for avoiding these causes will be done regarding the resources needed investment.

The technical development to identify the multiple interdependencies of the networks will be to superpose the infrastructure systems with the terrorism organisation systems (in this case the article treats about terrorism risk) for different scenarios.

We will firstable define different families of operators depending on the direct or indirect relationships. For each risk scenario (bombing of oil, cyber attack...) we will identify nodes and arcs that will define in detail the interaction points between different networks.

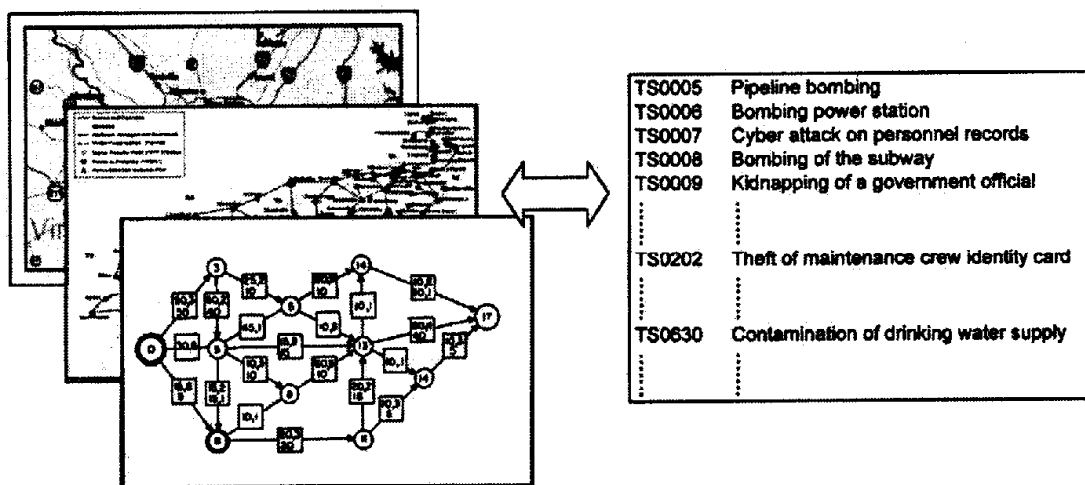


Figure 20: Superposition of infrastructure networks and their relation to the terrorism scenarios (Lambert H.et al., 2005)

Having defined all the parameter in interaction, direct and indirect interactions, we define operators to generate counts of the various parameters. In consequence we will determine the cardinality of an incident  $\eta()$  which when it will be high indicates a need to explain the prevalence of the relationship between the superposed networks and the terrorism scenario.

To sum up this paper introduces the representation and superposition of the infrastructure systems as networks, presenting a framework for describing them, achieving the mapping of various terrorism scenarios to multiple infrastructure networks. It also presents an example application and outlines the methods for analysing stability of the process of risk identification.

Bret et al., **Deposit related to degradation processes on Piton Neiges Volcano (Reunion Island): overview and geological hazard**, *Journal of volcanology and geothermal research*, 2002, Vol123, pp 25-41.

**Commentaires** : Cet article donne une vision très détaillée des différents processus de dégradation en présence d'un volcan. C'est un article très descriptif qui ne fait référence à aucune méthode. Il différencie pour sa description entre les processus produits pendant des périodes de repos du volcan, et ceux qui se produisent lors de sa mise en éruption. Comme conclusion, il fait une classification assez sommaire de ces processus par rapport aux dommages qu'ils peuvent produire sur des biens matériels ou des vies humaines.

The article treats the volcano degradation processes, during a long repose period, in order to identify and classify the risks in high populated areas. Lithology, frequency and estimated volumes of deposits of each process, can determine the importance of the degradation and erosion processes versus volcanic productivity.

During the study of the volcano treated on the article (Piton des Neiges, Reunion Island), the occurrence of the debris avalanches facies in the cirques plus the high frequency of extended debris flow deposits during the recent evolution of the volcano, indicate that large landslides and debris or mudflows are a major geological hazard to be considered in a volcano hazard analysis.

Based on their texture and origin, three types of degradation deposits are distinguished: (1) talus, (2) mudflow and debris flow, and (3) debris avalanches. The article classifies huge catastrophic avalanches produced by flank failures as a very low risk incident. However; mudflows and debris flows pose an important risk if a high population density is focused on the areas around the basin outlets.

**Talus** accumulated as the result of rockfalls, rock avalanches and small slides along river scarps and cliffs are observed at the foot of the source cliffs. They are observed at the foot of cirques and river cliffs. They are related to local collapses (rock falls and avalanches) along cliffs. The occurrence and its distribution is clearly dependent on the development of the high cliffs.

**Mudflows and debris flows deposits** result from a flowing mixture of water and rock moving down-slope under the force of gravity. In the Reunion Island these events are frequently associated with heavy rainfalls and often result from the reworking of unstable natural dams created by talus deposits blocking and entrenched valleys.

**Debris avalanche deposits** correspond to giant volcanic landslide which involves long and rapid displacement of huge masses driven by gravity along the basal shear plane. They represent the major degradation process in PN volcano. Most of them are result from huge flank landslides due to combined volcano-tectonic and gravity processes.

The following schema shows the different types of collapse deposits in the PN (Piton des Neiges) environment.

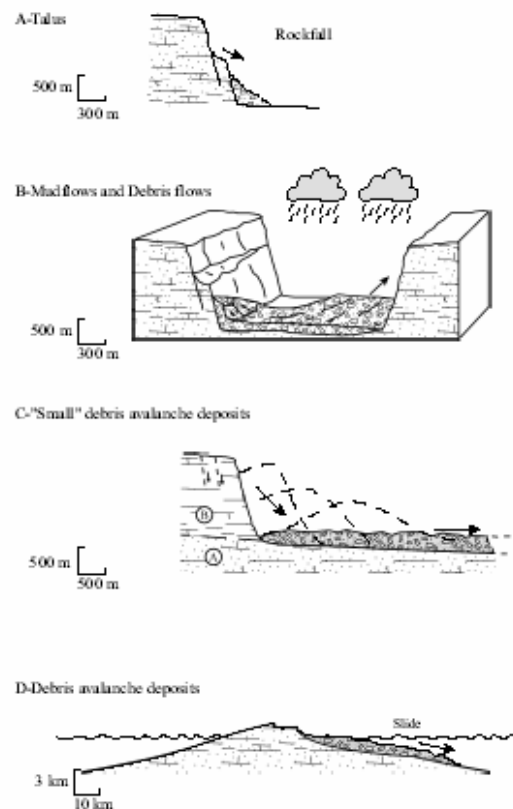


Figure 21: Different types of collapse deposits (Bret et al., 2005)

The deposits of these degradation processes appear dominantly within the great cirques and their outlets, but also locally in the external deepest rivers.

The above spatio-temporal analysis of the collapse processes allows us to evaluate the present risk of these natural hazards. On the basis of three types of deposits we define the following risk scenarios:

*First type* corresponding of talus formation processes. These deposits are the most frequent and widely distributed within the volcano. The extremely steep and rugged topography, added to high rainfall, triggers hundreds of rocks fall events in a year.

*The second type*, debris flows, is not taken into account in the present natural hazard protection plan. Nevertheless, the observed occurrence of older large mudflows and debris flows means that they represent a major risk for the population living at the basin outlet. Most of them occurred during high rainfalls periods.

*Finally*, the occurrence of numerous large debris avalanches has only been demonstrated during the volcano building stage. It testifies to the importance of flank landslides for the shield volcano degradation. As a consequence this natural disaster is not considered as probable hazard.

The degradation processes described below pose important geologic hazards, especially major historic rock avalanches. These processes can generate huge debris flows and represents a particularly important geological hazard within the cirque and their outlet. This situation, coupled with the high demographical growth, leads to a higher risk scenario.

Blancher P., **Risques et réseaux techniques urbains**, Centre d'Etude sur les Réseaux, les Transports, l'Urbanisme et les constructions publiques (CERTU), 1998.

**Commentaires :** Cet ouvrage fait une approche générale assez intéressante et complète sur la notion de risque des réseaux techniques de la ville (sources, chaîne de risques,...). Il propose des approches et des méthodologies pour développer un outil permettant une meilleure gestion des risques, notamment à travers des études de sûreté. Il aborde plus en détail les réseaux d'eau potable et assainissement.

### Introduction sur la notion de risque et plus précisément dans la ville et les réseaux techniques urbains.

Identification des sources de risques les plus courants dans les réseaux urbains (nuisance, rupture, saturation, accidents....) [page 18] en fournissant un schéma logique du maillon élémentaire de la chaîne des risques [page 15].

Les sources des risques ne sont pas normalement considérés comme des risques propres, sinon d'avantage comme des sources de richesse (fleuve, bord de mer,...). Les réseaux techniques urbains sont en constante interaction avec son environnement, en conséquence en continuité exposés aux contraintes du site. Ce fait doit être pris en compte lors de la conception et l'exploitation du réseau.

Tous ces réseaux se trouvent dans une interdépendance avec le risque, soit en déplaçant les aléas (polluant déplacé par le réseau d'assainissement) soit en les amplifiant. C'est là où jouent les éléments caractéristiques de la ville (nœuds d'échange et lieu de commandement). C'est pour cette raison que le développement d'un outil permettant une meilleure gestion de risques des réseaux urbains s'avère important. Une approche territoriale est nécessaire. Dans ce processus on est normalement dans le cas du « reengineering » des infrastructures passées et non pas dans la possibilité de faire table rase.

### Cas précis des différents réseaux: réseaux d'alimentation en eau potable et réseau d'assainissement. Le risque d'inondation pluviale urbaine.

Autant les réseaux d'eau potable comme d'assainissement sont soumis à des fragilités intrinsèques (dimensionnement, accidents,...), il faut aussi prendre compte pour sa conception l'environnement du réseau et de la dépendance croissante avec les autres réseaux. Dans ce cadre il apparaît la nécessité de mettre en place une étude de sûreté. Appuyé sur des méthodes utilisés dans des systèmes industriels, l'étude se composera des trois parties principales : analyse fonctionnelle (de l'existant), analyse préliminaire des risques (APS) et une exploitation des résultats obtenus [Page 27]. On choisira douze critères concernant la probabilité d'apparition des risques (gravité, conséquence, population concerné, nature d'usage, sécurité publique,...), pour lesquels quatre classes de retour des événements ont été définies. On pourra hiérarchiser ces critères par rapport à des critères de « gain de sécurité », d' « indice de criticité », de « rendement<sup>8</sup> » ou d' « entretien et maintenance ». On introduira dans la conception du réseau d'assainissement le concept de *gestion dynamique* (modifier la position du déversoir en cours de pluie).

---

<sup>8</sup> Défini comme le rapport entre l'investissement et son gain en sécurité.

Lors qu'on passe au traitement du risque d'inondation pluviale urbaine on peut l'envisager à partir de trois méthodes (sécuritaire, globale ou intégrée) [Page 99]. Elles permettront à ceux qui prennent les décisions de mieux saisir les lignes de force qui orientent le système global dans lesquels ils évoluent.

### Étude des dépendances et interactions entre les réseaux

Identification des risques engendrés par une concentration de réseaux urbains [page 63] et de l'interaction entre les réseaux [page 64]. Critères basés sur des principes de vraisemblance (V), intensité (I) et coût induit (C) [page 66] par rapport à des scénarios de propagation et des facteurs d'influence.

Afin d'établir ces critères de V, I et C une démarche a été effectuée sur le terrain en trois étapes :

- recensement du réseau
- remplissage d'un questionnaire par les responsables du réseau.
- évaluation des différents critères avec les acteurs responsables des réseaux.

Ces méthodes d'analyse globale doivent être suivies d'une connaissance ample des réseaux, étant donc ces deux mesures nécessaires pour une bonne gestion des risques. Cette analyse peut prendre forme à travers de :

- Une visualisation sur une carte des risques
- Une hiérarchisation des informations pour les gestionnaires des réseaux
- Une création d'un guide techniques

Le grand problème que l'étude des dépendances et interactions entre réseaux avère, est la multiplicité d'acteurs et décideurs.

Torres-Vera M. A. et Canas J. A, **A lifeline vulnerability study in Barcelona**, *Reliability Engineering and System Safety*, 2002, 205-210

**Commentaires** : Cet article parle de l'analyse et la gestion des risques pour les conduites enterrées dans le cas d'être en présence d'un séisme. Il introduit d'une manière très générale deux méthodes pour le calcul de la probabilité de rupture de la conduite par un séisme (Wang et Eguchi). Finalement en suite il faut une comparaison entre ces deux méthodes et propose très brièvement des approches pour réduire le risque. Il est dirigé vers les gestionnaires des réseaux d'eau potable.

This paper defines the vulnerability of the pipelines to ground movements as being caused by the structure itself. In this way seismic vulnerability is a measurement of a structure's seismic endurance.

The estimation of seismic vulnerability is obtained by calculating direct damage and economic losses. This article proposes the use of the following procedure: calculation of seismic risk by estimation of seismic movements, inventory of damage data for each system and determination of vulnerability curves as a function of seismic intensity.

The study of the response of lifeline systems during an earthquake, as well as the calculation of their behaviour, is based on their structural characteristics. Therefore, the studies of lifelines are based on experimental data.

The two models proposed for calculating the earthquake vulnerability will be: Wang model and Eguchi model. Wang model will propose a simplified equation in order to estimate the seismic loss of buried pipelines systems.

$$\text{Log } Y = 1.837(I) - 14.065 \quad \text{Poor soil condition}$$

$$\text{Log } Y = 1.717(I) - 14.221 \quad \text{Average soil condition}$$

$$\text{Log } Y = 1.522(I) - 14.045 \quad \text{Good soil condition}$$

where

$Y$  is the number of breaks/km of pipeline

$I$  is the MKS intensity of the ground motion at the section being evaluated.

**Figure 22: Simplified equation to estimate seismic loss of buried pipelines (Wang, 1991)**

The equation above will estimate the break rate of a pipeline without considering relevant pipeline characteristics. It can be used when there is no detailed pipeline information available.

The model proposed by Eguchi will calculate the break rate of an underground pipeline extending through a liquefaction area, depending on the material used for the pipeline construction. As we can see above  $Y$  will represent the break rate. :



$Y = 1.5$  material is Asbestos Cement (AC)  
 $Y = 1.0$  material is Cast Iron (CI)  
 $Y = 0.8$  material is Welded steel with Caulked joints (WSCJ)  
 $Y = 0.7$  material is Welded steel with Gas-welded joints (WSGWJ)  
 $Y = 0.1$  material is Welded steel with Arc-welded joints (WSAWJ)

where  $Y$  is break/1000 feet.

**Figure 23: Break rate depending of the material (Eguchi, 1983)**

All the empirical estimations given for pipelines are in the form breaks/ km, for a particular loading and set of soil conditions.

For calculating the probability of having a loss we will assume that the pipe breaks following a Poisson's distribution. And the probability of having at least one pipe failure will be expressed in terms of the length and the break rata.

$$P_f = 1 - \exp(-r_j L)$$

where  $P_f$  = the probability of pipe failure.

**Figure 24: Probability of having at least one pipe failure (Torres-Vera M. A. et Canas J. A, 2002)**

Where  $L$  will be the length of the pipeline and  $r_j$  the break rata.

To sum up all the results should be treated very cautiously, given the empirical nature of the information used to generate them.

Finally the article proposes three approaches to reduce the risk: damage reduction measures, provision for systems redundancy and operational improvements. The most important finding derived from the work done for this article is the creation of an emergency plans to be followed before and after an earthquake in the city.

Sevtap Selçuk A. and Semih Yüçemen M., **Reliability of lifelines networks under seismic hazard**, *Reliability Engineering and System Safety*, 1999, Vol65, pp 213-227.

**Commentaires** : Cet article développe un modèle très complet pour estimer la fiabilité d'une infrastructure en cas de séisme. Le modèle est expliqué d'une manière très exhaustive et l'article donne deux exemples d'application pour l'illustrer. Ce modèle se base sur des modèles probabilistes pour estimer la fiabilité du système à partir de la quantification du risque du à un séisme et à partir d'une analyse de la fiabilité du système. Comme résultat nous obtiendrons des fourchettes de fiabilité du système d'avoir défaillance du système. Il est dirigé à un public assez expert.

This article is aimed to develop a comprehensive probabilistic model to estimate the reliability of lifeline systems under seismic threat. The seismic hazard evaluation methodology is based on the "classical" seismic hazard analysis model and the algorithm proposed by Yoo and Deo (1988) is adopted for the assessment of network reliability.

This article presents two study cases, the first one concerns the major highways around Boston, and the second one concerns a gas pipeline which goes from Russia through all Turkey.

The assessment of the earthquake reliability of lifelines requires the estimation of the seismic hazard and a network reliability analysis.

The seismic hazard analysis will provide quantitative information useful for designing and checking the safety of structure subject to seismic activity. For doing this it is first necessary to analyze the available data on the past earthquakes. This data base is used as an input to the stochastic model which will give an estimate of the future seismic activity expected at an expected region over a specified time interval.

Table 1  
Seismicity parameters for the seismic sources located around Boston [15]

Source no.	$\nu$	$\beta$	$m_0$	$m_1$
1	0.0240	1.65	4.3	6.1
2	0.0080	1.65	4.3	6.8
3	0.0040	1.65	4.3	5.5
4	0.0280	1.65	4.3	5.9
5	0.0200	1.65	3.7	5.2
6	0.0125	1.65	4.3	5.5
7	0.0320	1.65	4.3	5.5
8	0.0375	1.65	4.3	5.9

Figure 25: Seismic parameters for the seismic sources located around Boston (Cornell C.A. and Merz H.A., 1975)

A major source of uncertainty in seismic hazard analysis is the attenuation relationship. By means of a random correction factor the uncertainty in the attenuation equation is directly taken into account. The attenuation equation is assumed to be (Panoussis, 1974):

$$PGA = 5600e^{0.8m}(r + 40)^{-2}$$

Figure 26: Attenuation equation (Panoussis, 1974)

Where PGA is peak ground acceleration in cm/s<sup>2</sup>, and *m* and *r* denotes the distance in km between the site and the earthquake's hypocenter.

Network reliability analysis is based on the evaluation of the performance of a network in terms of its ability to withstand the failure of its components. A network is modelled as a graph that contains a set of nodes and vertices representing either directed or undirected communication links. The lifelines systems are idealized as equivalent networks where the link and node capacities can be selected either deterministic or random.

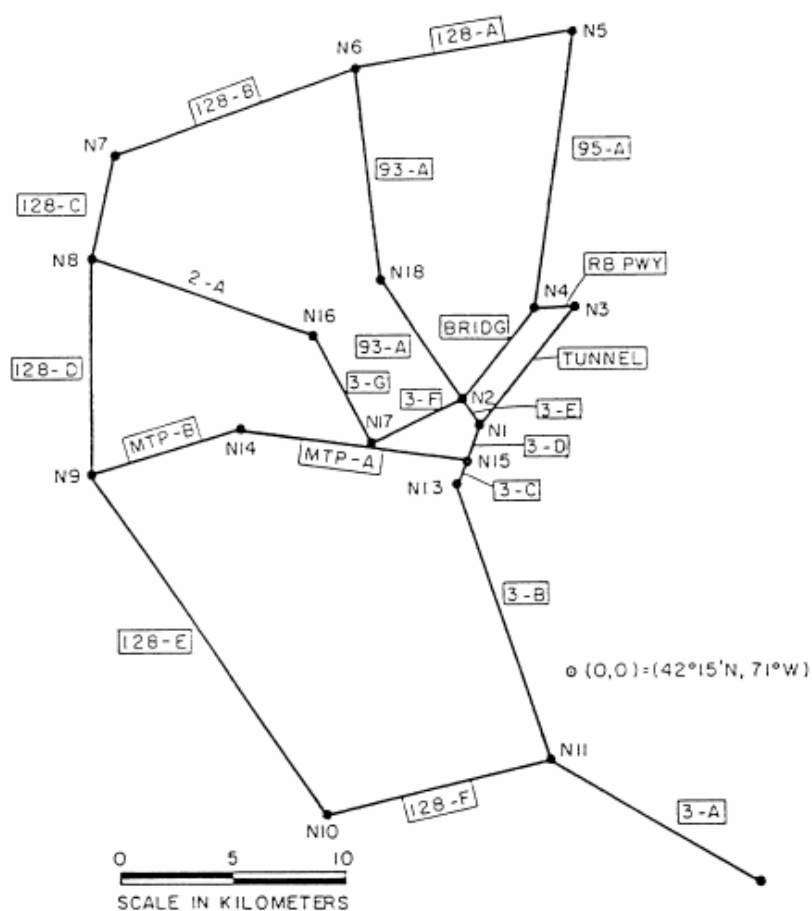


Figure 27: Network model for major highways within the Boston area (Taleb-Agha, 1977)

The network reliability analysis is performed by a structure reliability model which is a basic probabilistic model. The failure probability of an element is described by the capacity *C* (strength) and the demand *D* (loading) in the element. The probability of failure *P<sub>f</sub>* is defined as :

$$P_f = P(C \leq D) = P(C - D \leq 0) \\ = \int_{c-d \leq 0} \int f_D(d) f_C(c) dd dc$$

**Figure 28: Probability of failure (Sevtap Selçuk A. and Semih Yüçemen M., 1999)**

Generally in this context the survival probability,  $R$ , is referred to as reliability.

$$P_s = P(C > D) = 1 - P_f = R.$$

**Figure 29: Survival probability (Sevtap Selçuk A. and Semih Yüçemen M., 1999)**

The implementation of the reliability model described above requires information on the probability distribution of seismic demand and capacity. However; this model is only valid for the elements of a system that are considered as a point in space. For the most common elements extended in the space with varying lengths, this model should be modified.

For the assessment of linear extended elements of a network two models are developed by the authors in this article: the first will be called the “point site” and the second the “multi-side” model.

In the “point-site” model the probability distribution of the appropriate seismicity parameter is computed at a number of points along each spatially extending component of the system and the highest seismic demand of each component is identified. Each component is idealized as a point with a seismic hazard distribution equals to the distribution of maximum hazard obtained along the component. This model makes the assumption that the seismic capacity is homogeneous along the total length of the spatially extending component. However, in reality the elements of a lifeline extend in space with varying lengths. It is usually used when we can assume that the length of links is small compared to the overall size of the region containing seismic sources.

In the “multi-site” model the spatial correlation within components is modelled and the length effect on the reliability is taken into consideration. In this model the problem of failure will be considered at the midpoints of each segment. The survival of the element requires the survival of each segment. In consequence the failure events of the segments on the same member are expected to be highly correlated although is not possible to quantify the true value correlation among the segments. To tackle with these difficulties upper and lower bounds have been derived for the reliability of a series system. The bounds are given as follows:

$$\prod_{j=1}^{n_i} P_{S_{ij}} \leq P_{S_i} \leq \min_{j=1, n_i} P_{S_{ij}}$$

or in terms of the reliability notation,  $R$ ,

$$\prod_{j=1}^{n_i} R_{ij} \leq R_i \leq \min_{j=1, n_i} R_{ij}$$

**Figure 30: Survival model bounds (Sevtap Selçuk A. and Semih Yüçemen M., 1999)**

Where the product of the segment reliabilities constitutes a lower bound and the upper bound corresponds to a perfect dependence among all segments where an element fails through the failure of the weakest segment having the lowest reliability.

The spatial correlation in the “multi-site” model inside the elements is considered as crucial. As the number of segment in which the element is divided increases the lower bound reliability decreases. However, the correlation among the elements may also influence the failure of the system. The degree of correlation between any two elements will depend on the distance separating them and is expected to be decaying function to distance.

$$\rho(\Delta) = e^{-(\Delta/a)}$$

**Figure 31 : Degree of correlation between two elements (Sevtap Selçuk A. and Semih Yücemem M., 1999)**

Where  $\Delta$  is the average distance between any two components of the lifeline and  $a$  is a parameter describing the correlation structure of the seismic capacity and demand. For this type of exponential correlation  $\lambda=2a$ . Where  $\lambda$  is the a parameter proposed by Vanmarcke (1983), which represents the distance over which a spatial random process shows a relatively strong correlation.

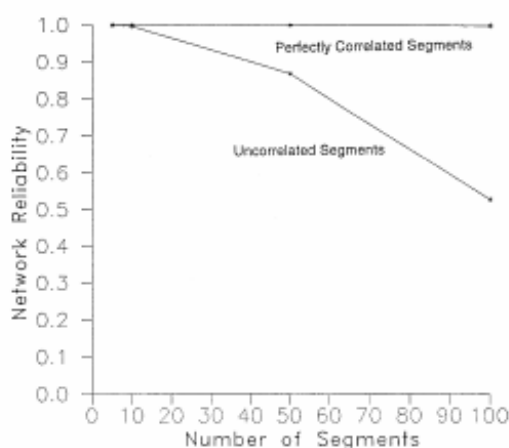


Fig. 4. Sensitivity of network reliability to the number of segments (Boston highway system. Resistance: Gauss;  $\mu = 0.100g$ ,  $\sigma = 0.002g$ ).

**Figure 32: Sensitivity of network reliability to the number of segments (Sevtap Selçuk A. and Semih Yücemem M., 1999)**

The authors note that the element reliability value computed from the “point site” model should be equal to the upper bound reliability value computed from the “multi-site” model for the same element. Here is assumed that the reliability of an element corresponds to the reliability in the weakest failure mode.

In a network, resistance of nodes and links are random. Considering also the randomness associated with earth-quake loads, a probabilistic approach to the assessment of the reliability of the system is done. These components reliability values are then used to evaluate the reliability of the network according to the following network reliability model.

Table 4  
Reliability of components for the multi-site model (Boston highway system. Resistance: Gauss;  $\mu = 0.100g$ ,  $\sigma = 0.002g$ ,  $\lambda = 1$  km)

Link No. ( <i>i</i> )	No. of segments	Component reliability, $R_i$	
		Lower bound <sup>a</sup>	Upper bound <sup>a</sup>
1	1	0.99318482	0.99318482
2	6	0.95975296	0.99299644
3	2	0.98573183	0.99279738
4	6	0.95770193	0.99277363
5	12	0.91113116	0.99204684
6	10	0.91465141	0.99010728
7	11	0.88709534	0.98858533
8	3	0.96613434	0.98856957
9	10	0.90834019	0.98881464
10	18	0.87914968	0.99028337
11	10	0.95511608	0.99497121
12	11	0.94879717	0.99481069
13	12	0.93776408	0.99378704
14	1	0.99363782	0.99363782
15	1	0.99344816	0.99344816
16	4	0.97323649	0.99290677
17	6	0.95321878	0.99139863
18	3	0.97865343	0.99279754
19	6	0.95347780	0.99143465
20	5	0.96054818	0.99134877
21	6	0.94552565	0.99025506
22	10	0.90289130	0.98882601
23	9	0.91795857	0.99007353

<sup>a</sup> Here (Lower bound =  $\prod_{i=1}^n R_i$ ; upper bound =  $\min_i R_i$ ).

Figure 33 : Reliability of components for the multi-site model (Sevtap Selçuk A. and Semih Yücemem M., 1999)

As said above the reliability model considered in this study is based on the model proposed by Yoo and Deo (1988) in which path-enumeration is implemented. This algorithm yields rapidly converging upper and lower bounds on the network reliability when the specified completion time is exceeded.

The basic problem in reliability analysis is the assessment of the terminal-pair reliability, where the aim is to find the probability that there exists at least one path from a specified node to another specified node along which all nodes and branches are “operational”. The graph of a lifeline network can be represented as a  $n \times n$  matrix with elements 1 or 0, where 1 stands for the existence of a link. The matrix will be called the adjacency matrix.

In this model certain events are considered as successes and some other as failures. A value 1 will be given if a link in a network survives a value 0 if a link doesn't survive and 0 if it is a node on the network.

The reliability of the network  $R(G)$ , requires computing the probability of events which is the product of probability of elementary events for  $n$  link.

$$R(G) = \sum_{i=1}^{|\Omega_n|} P(S_i), \quad \sum_{i=1}^K P(S_i) \leq R(G) \leq 1 - \sum_{i=1}^L P(F_i)$$

Figure 34: Reliability of a network (Sevtap Selçuk A. and Semih Yücemem M., 1999)

Where  $S_i$  ( $F_i$ ) will be the disjoint success (failure) and  $\Omega_s$  will represent the collection of disjoint success.

Similarly the terminal failure probability  $Q(G)$  will be noted as follows:

$$Q(G) = 1 - R(G) = \sum_{i=1}^{|\Omega_s|} P(F_i)$$

**Figure 35: Terminal failure probability (Sevtap Selçuk A. and Semih Yüçemen M., 1999)**

The survival probability of links is usually high in lifelines. In this case the two bounds are close to each other.

This procedure has been computerized by software packages as LIFEPAK (Selçuk (1996) and Selçuk and Yüçemen (1996)).

As result we will have a table with the upper and lower reliability bounds with the point-site and multi-site methods.

Table 8  
Reliability bounds for natural gas distribution system corresponding to different assumptions (Resistance: Gauss; c.o.v. = 0.20)

Model	$\mu = 0.25g, \sigma = 0.05g$	$\mu = 0.50g, \sigma = 0.10g$
Point-site	0.817984 < $R_s$ < 0.976112	0.969428 < $R_s$ < 0.995384
Multi-site:		
For upper bound	0.796022 < $R_s$ < 0.976069	0.964349 < $R_s$ < 0.995373
For lower bound	0.014832 < $R_s$ < 0.413546	0.527989 < $R_s$ < 0.844690

**Figure 36: Reliability bounds for natural gas distribution system (Sevtap Selçuk A. and Semih Yüçemen M., 1999)**

As we can observe in this table multi-site model yields lower reliability bounds for the pipeline systems. The slight difference observed between these two models is because of the location of the segments having the lowest reliability in the multi-site model does not necessarily coincide with the location of the highest seismic hazards in the point site model. These differences will decrease as the length of segments decreases.

All the calculations above are performed under the assumption of 100% reliable nodes. The calculation of the reliability should include the effects of failure of compressors or pressure reducing valves to be more accurate.

To sum up this paper propose an evaluation of the seismic safety of lifelines in terms of survival probability. This fact enables one to compare the various alternatives for improving the reliability of a lifeline and to perform a cost/ benefit analysis by using decision theoretical approaches.

Haimes Y. et al., **Virginia's Critical Infrastructure Protection: A Statewide risk assessment study**, *IEE Systems and Information Design Symposium*, 2002, pp 175-180.

**Commentaires** : Cet article donne une démarche générale de la gestion globale des risques. Il est assez sommaire dans les méthodes (RFRM, HHM et OFR) et ses détails, mais il fait une énumération assez explicite de tous les processus à suivre pour implémenter ces méthodes, et il donne ainsi beaucoup de références pour pouvoir approfondir le sujet. Dirigé aux communautés urbaines ou conseils généraux.

This paper talks about the overall process of risk analysis, evaluation and risk management. We identify and asses the risks resulting from willfull hazards, then we identify the vulnerabilities and we quantify the risk associated with the vulnerabilities and the consequences. Finally we recommend means for mitigating risks and improving emergency response and recovery (ERR) plans.

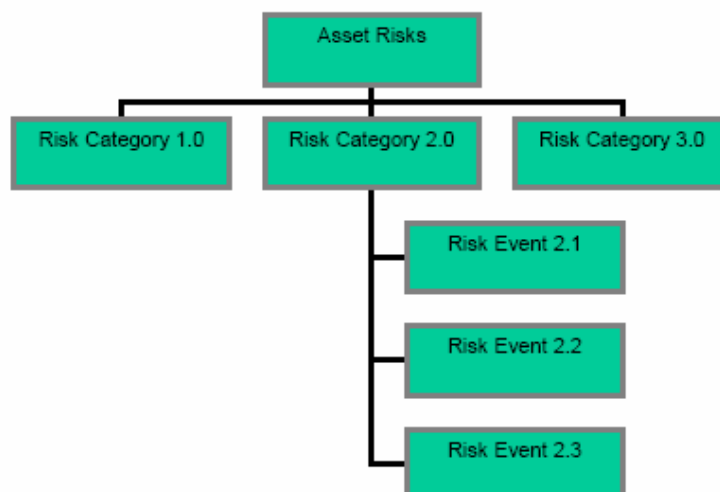
This paper considers specially the terrorism risks associated with transportation infrastructures because it has been demanded by the VTRC (Virginia Transportation Research Counsel).

Each risk analysis and evaluation will be done according to different risk scenarios filtered by the analysts. Moreover there is no way to pretend full prevention in a known risk scenario. So the group of analysts suggest ways of obtain a "safe system failure" which assures a minimum damage in case of complete failure. To do so some case study have been chosen as bridges, two majors interchanges between critical highways abs a traffic centre.

This process follows a methology called *Risk Filtering, Ranking and Management (RFRM)*, developed by Haimes, Kaplan and Lambert, in order to identify, prioritize, asses and manage multiple risk scenarios from different angles within a large scale system. This method is comprised in an eight-phase process.

Part I : Scenario identification which is accomplished by a phase HHM (Hierarchical Holographic Model), a graphical method that helps the analyst to identify sources of risk. It gives a look at every source and point of risk within and outside the system. This brainstorm analysis results in multiple risk scenarios that are then preceded to the filtering phase.





**Figure 37: General structure of hierarchical holographic model (Haimes 1981, 1999)**

Part II : Filtering on Scope. In this phase the analyst will decide which subset of risk categories will be more relevant to the decision makers domain and interests.

Part III is called the Ordinal Filtering and Ranking, it is a process in which the set of categories developed in phase II can be reduced down. For this purpose a risk matrix that describes likelihood and consequences levels for source of risk is used. The analysts use probabilities density functions (pdf) in order to calculate the expected damage value.

The last five parts will concern the risk management. These parts will have as target to provide options as to what could be done to protect the infrastructures against the possible risk scenarios identified before. As example it can propose to enable security facilities or consider availability of material for reconstruction.

For choosing from all the policy options for risk management we have to determine their trade-offs. Calculation of this type requires information such as cost, percent effectiveness and expected damage. The information goes through a filter formed by probability distribution and Pareto-optimal graphs.

In this kind of curves a “non-optimal point is defined” in order to define the inferior policy since other policies exist that cost less and has a lower probability of failure.

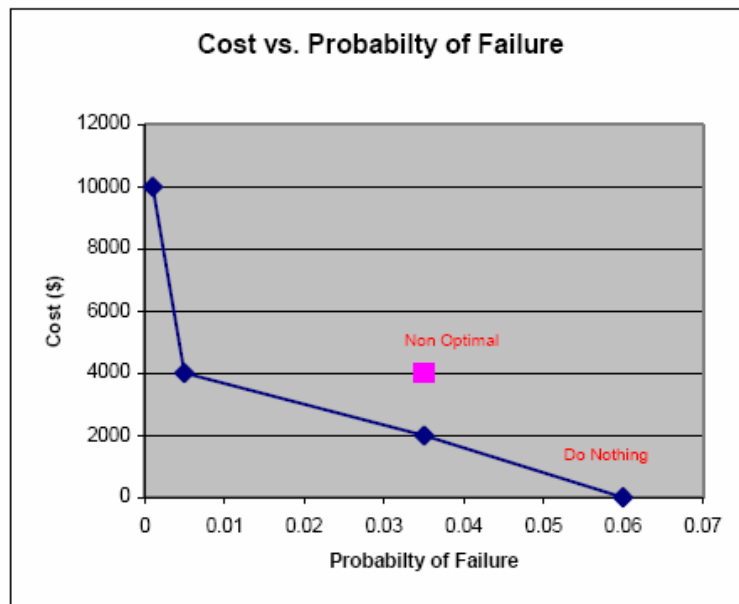


Figure 38: Multiobjective trade-off analysis (Haines, 1999)

The output gives the decision maker a visual representation of all the policy options with their respective trade-offs (costs, probability of failure, percentage of damage...)

Schneider P., Schauer B., **HAZUS- its development and its future**, *Natural Hazard Review*, vol 7, No 2, Mai 2006, pp 40-44.

Commentaires: Ce texte est la présentation d'introduction d'un dossier de Natural Hazard Review consacré à HAZUS. Ce modèle permet la modélisation de séismes, d'inondations et d'ouragans, en prenant en compte la répartition spatiale et le type de bâti, les infrastructures (en particulier routière et l'eau potable), la démographie...sur la base d'un SIG. Le logiciel permet une estimation des coûts d'une catastrophe et d'une mitigation pour le territoire des Etats-Unis. Utilisé par différentes agences, administrations...cet outil paraît facile d'utilisation, son accès est gratuit et son développement en Europe, en particulier pour les inondations qui y sont les plus répandues, paraît très intéressante.

HAZUS a été conçu au début des années 90. C'est un outil informatique gratuit et général sur l'estimation des pertes relatives aux aléas naturels, destiné à un vaste public de personnes et d'agences concernées par la prise de décision et de mitigation du risque. Ce logiciel a été produit par la FEMA (Federal Emergency Management Agency), en collaboration avec le National Institut of Building Sciences (NIBS), des comités techniques, des utilisateurs... Le développement de ce logiciel en a fait un équipement de pointe, dont la version HAZUS-MH de 2004 propose des modèles pour inondation et ouragan en plus de l'initial modèle pour les séismes. Ce programme permet l'import-export de données, contient une classification des différents types de bâtiments, et utilise la technologie SIG. La première version de HAZUS a été utilisé par plus de 1700 professionnels (du public ou du privé). La FEMA leur propose en plus des formations, des mises à jours et des supports techniques.

#### Le modèle sismique :

Le modèle sismique a été initié en 1992 par la FEMA, qui joue un rôle prépondérant dans le National Earthquake Hazard Reduction Programm (NEHRP). Le NIBS a tenu le rôle du manager pour l'ensemble du projet. Le NIBS est une association à but non lucratif qui fait le lien entre le gouvernement et le secteur privé pour permettre l'application réelle de conclusions techniques relatives aux bâtiments. Le NIBS a mis en place deux comités : l'un représentant les futurs utilisateurs et l'autre, le comité de séisme, chargé des questions techniques et du développement de l'interface informatique.

La première version proposait une classification du bâti, l'utilisation d'une analyse de capacité spectrale du bâti pour déterminer les dommages de celui-ci et le développement de modèles pour déterminer le nombre de blessés, le besoin d'abris, les décombres et les pertes économiques indirectes.

L'évolution de ce logiciel a permis d'intégrer l'analyse du réseau d'eau potable, des ponts, des réseaux ferrés, des hôpitaux disponibles, les mouvements de sols...et d'inclure les victimes et les pertes économiques directs et indirects qui leur sont liées. Les analyses en 3D du bâti ont également été introduites grâce à divers algorithmes. Il est également possible de créer ses propres dommages sur les bâtis spécifiques et des fonctions de pertes. Cette possibilité permet de se servir du programme pour la mitigation, puisque l'on peut prendre des hypothèses de réduction du séisme ou de bâtiment consolidé. Il est également possible de choisir le type de sol, les lieux de liquéfaction, de glissement de terrain et de profondeur des nappes d'eau.

Le modèle a été testé pour les séismes de Northridge, Loma Pietra, Withthier et Napa Valley.

#### Le modèle d'inondation :

En 1997, le FEMA et le NIBS développe selon le même schéma un modèle pour l'estimation des pertes lors d'inondations. Différentes régions et différents types d'inondation ont été considérés. Ce programme intègre les inondations de rives et de côtes et les différents types de bâti. D'autres développements intègrent également une estimation des dommages des transports, des réseaux, des zones agricoles, des véhicules, des structures de bâtis et de leur intérieur, la formation de débris.

Le programme prend en compte l'alerte d'inondation et les effets de la vitesse des vagues. Il est également possible d'entrer l'étendue, la profondeur et la hauteur de l'inondation, ainsi que des mesures d'élévation du sol, les limites de la zone inondable...

#### Le modèle pour ouragans :

En 1997, le développement du modèle pour ouragans a commencé avec un comité spécialisé. La trajectoire et le wind field d'un ouragan ou d'une tempête tropicale ont été étudiés pour les événements passés et adaptés pour caractériser des événements du modèles.

Un modèle de résistance du bâti a été développé pour les bâtiments résidentiels, commerciaux, industriels qui inclut la pression induite par le vent et les effets des débris véhiculés par le vent. Les pertes sont déterminées par combinaison des estimations empiriques de réparation des bâtiments, remplacement de structures et de leur contenu. Les effets des mesures de mitigation par augmentation de la résistance des structures sont également intégrées au modèle.

#### Inventaire :

Une base de données importante est intégrée à HAZUS, qui contient un inventaire des bâtiments et des réseaux au niveau national. Des données démographiques sont également intégrées.

Ces données ont été régulièrement mises à jour et obtenues auprès de différentes agences nationales ou régionales.

#### Etudes nationales :

En 2001, une étude nationale a été menée par la FEMA en utilisant HAZUS pour comparer le risque sismique et les pertes annuelles par état. Cette étude doit aider à analyser les pratiques actuelles de mitigation et à les développer.

#### Futur de HAZUS :

En 2005, la première mise à jour a été mise à disposition des utilisateurs. Celle-ci apporte des compléments sur les types de bâtiments, des mises à jour régionales et une nouvelle version de SIG.

Actuellement, avec l'aide de la NASA, HAZUS évolue vers une version plus complète au niveau des ouragans. Cette nouvelle version pourrait prendre en compte des effets combinés du vent, des vagues, des arrachements possible d'arbres...

Sohn J. et al, **Retrofit Priority of network links under an earthquake**, *J. Urban planning & development*, Vol 129, no 4, december 2003, pp 195-210.

Commentaire: si le début de ce texte est intéressant par les nombreuses références qu'il fournit et la démarche proposée, la suite est relativement floue, avec des équations partiellement présentées et qui se réfèrent aux travaux d'autres chercheurs. De même, pour les graphiques étant le résultat d'une étude de cas, les hypothèses et les résultats ne sont pas clairement présentés. L'étude des coûts indirects se révèle donc très compliquée pour un résultat plus ou moins attendu : les routes reliant les états entre eux et étant des routes commerciales sont économiquement les plus pénalisantes en cas de séisme. Les routes munies de nombreux ouvrages d'art sont celles dont la réparation coûtera le plus cher.

Ce texte propose un système d'analyse économique permettant d'analyser l'impact d'un séisme sur le réseau de transport et de mettre en place une analyse coût-bénéfice pour une stratégie de mise à niveau des infrastructures.

#### Etudes existantes :

L'impact d'un séisme peut être divisé en deux parties :

- Les coûts directs sont les coûts des destructions directes ainsi que les interruptions de production qui en résultent. Cho et al<sup>9</sup> (2000) appliquent une fonction de perte (loss function) pour convertir le taux de destruction des bâtiments en perte de production par secteur de production, période et zone géographique. Rose et al<sup>10</sup> (1997) suggèrent que la production dépend d'une série d'équations incorporant une fonction de perte. Chang<sup>11</sup> (1998) développe une approche probabiliste pour estimer une fonction de perte. Quigley<sup>12</sup> (1998) se concentra sur une analyse coût-bénéfice des directives de mise à niveau (retrofit).
- Les coûts indirects sont les coûts de baisse de production dus à la baisse de livraison d'un produit qui a été touché directement par un séisme : par exemple l'industrie alimentaire touchée par la destruction de production agricole lors d'un séisme. De même, la baisse de production de cette industrie va toucher la production d'autres industries utilisant ses produits. Dans leur utilisation de la méthode HAZUS, Brookshire et al.<sup>13</sup> (1997) et Cochrane<sup>14</sup> (1997) proposent une « dynamic input-output table » avec des coefficients variables dépendant de

---

<sup>9</sup> Cho et al, "Analyzing transportation reconstruction network strategies: A full cost approach." Rev.Urban Reg. Develop. Studies , Vol 12 No3, 2000,pp 212–227.

<sup>10</sup> Rose et al "The regional economic impact of an earthquake: Direct and indirect effects of electricity lifeline disruptions." J. Regional Sci., Vol 37 No3,1997,pp 437–458.

<sup>11</sup> Chang "Direct economic impacts." Engineering and socioeconomic impacts of earthquakes: An analysis of electricity lifeline disruptions in the New Madrid area, M. Shinozuka, A. Rose, and R. T. Eguch, eds., Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, N.Y.,1998,pp 75–94.

<sup>12</sup> Quigley "Earthquake! The use of economics, engineering, and statistical information to invest in seismic safety." J. Appl. Reg. Sci., Vol 3, 1998, pp 9–20.

<sup>13</sup> Brookshire et al . "Direct and indirect economic losses from earthquake damage." Earthquake Spectra, Vol 13 No4, 1997, pp 683–701.

<sup>14</sup> Cochrane "Forecasting the economic impact of a Midwest earthquake." Economic consequences of earthquakes: Preparing for the unexpected, B. G. Jones, ed., Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research, Buffalo, N.Y., 1997, pp 223–247.

l'environnement changeant. Une comparaison entre HAZUS et la méthode présentée ici est présentée dans le tableau suivant.

	Model in analysis	HAZUS
Scope	Transportation network	Comprehensive
Direct loss model	Fragility function	Fragility function
Direct economic loss	Disruption ratio	Damage cost
Indirect loss model	Input-output and transportation network model	Input-output
Indirect economic loss	Final demand and system transport cost	Output, income, and employment
Input-output table	Multiregional	Regional or national
Initial shock	Total output or final demand	Total output
Sectoral resiliency	○	×
Sectoral loss	○	○
Zonal loss	Multiple zones	Single zone
Time span	One year	Multiple year
Model	Stochastic	Stochastic

Figure 39 : Comparaison entre la méthode HAZUS et la méthode présentée. (Sohn et al, 2003).

La méthode HAZUS est plus générale que la méthode présente qui est établie pour les moyens de transports.

Cadre de l'analyse :

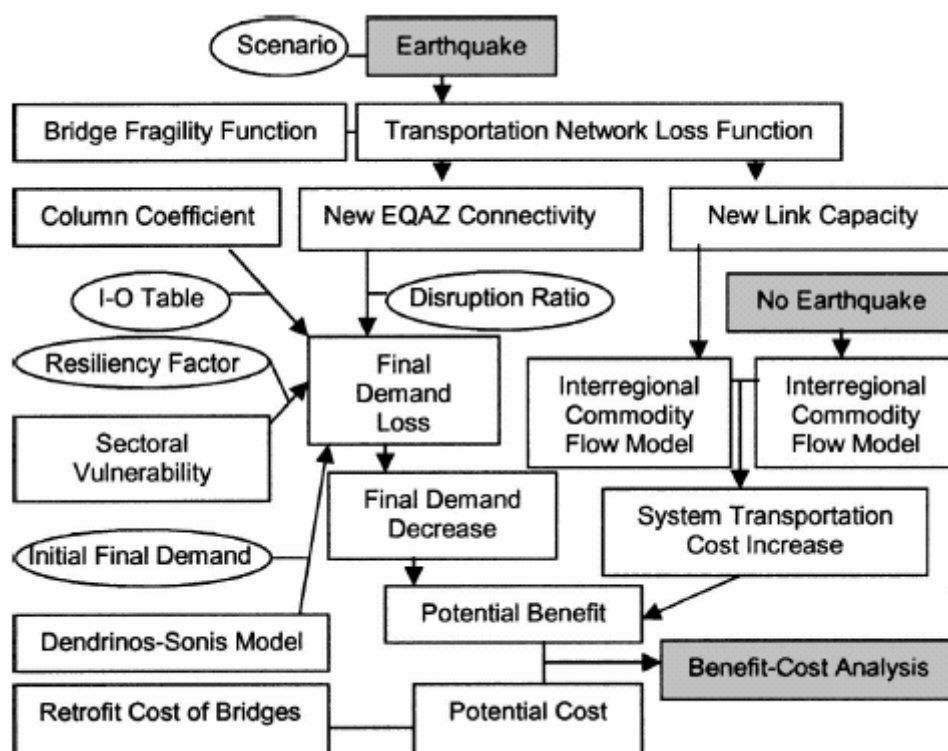


Figure 40 : Cadre d'analyse d'un scénario. (Sohn et al., 2003).

Tout d'abord, le modèle du réseau de transport (ICFM : interregional commodity flow model) est établi pour estimer le coût lors de conditions ordinaires. Ce coût reflète le coût de référence sans dommage. La fonction de perte du réseau, fonction du scénario

de séisme, est dérivée pour estimer les dommages sur le réseau. Une fois que les capacités du réseau sont changées avec la fonction de perte, le ICFM peut être redémarré. Le modèle délivre alors les nouveaux coûts de transport en fonction des dommages subis.

Deux types de résultats sont alors disponibles : l'importance d'un maillon dans le cas général et dans le cas d'un scénario de séisme. Plus la différence de coût avec le cas de référence sera important, plus le maillon considéré est important dans le réseau.

La fonction de perte de demande (final demand loss function) prend la forme suivante :

$$\Delta f = (I - A) \{ [D \otimes (1_{13} - R)] \circ [(I - A)^{-1} f] \}$$

$\Delta f$  = change of the final demand by sector by zone (468 x 1);

$A$  = 13 sector by sector direct input coefficient by zone (468 x 468);

$D$  = network disruption ratio by zone (36 x 1);

$1_{13}^T = (1 \dots 1)$ ;  $1_{13} - R$  = one minus sectoral resiliency factor vector (13 x 1);

$f$  = final demand by sector by zone before the earthquake (468 x 1);

$\otimes$  = tensor; and  $\circ$  = defined as  $B \circ G = (b_{ij} \times g_{ij})_{m \times n}$  where  $B = (b_{ij})_{m \times n}$  and  $G = (g_{ij})_{m \times n}$ .

D'autres équations sont développées pour définir la résilience face aux séismes et modéliser le réseau régional de transport. Pour les détails, se référer directement au texte de Sohn et al.

L'intérêt d'un tel système est de pouvoir comparer l'impact économique de la fermeture d'un tronçon par rapport à un autre. 84 tronçons de la région du Midwest ont ainsi été étudiés et les résultats cartographiés.

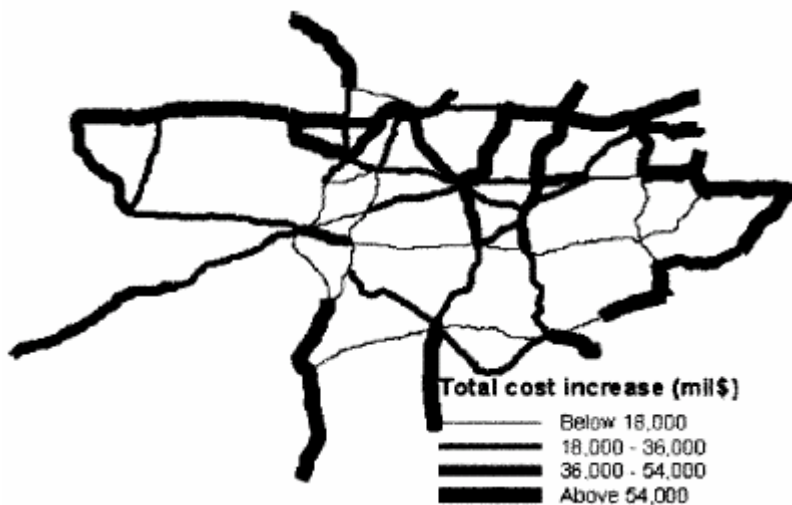


Figure 41 : Total cost increase. (Sohn et al., 2003).

Dans le "total cost increase" (déterminé par une interruption totale de la circulation sur le tronçon concerné), plus la ligne de dessin est épaisse, plus le tronçon a une forte importance économique. La route située au nord a une grande portée économique sur l'ensemble des tronçons puisque cette route permet de relier différents états entre eux et à la côte est. Cette route est commerciale et son interruption entraîne donc de lourds dommages, en perte de production par manque de matière première.

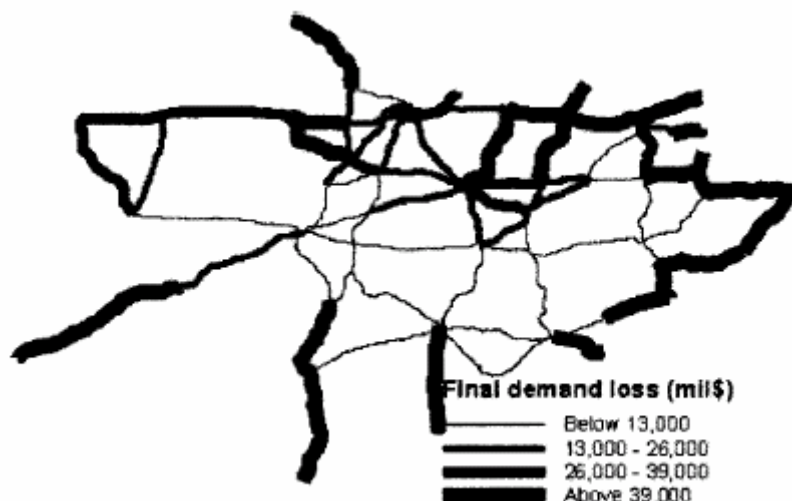


Figure 42: Final demand decrease. (Sohn et al., 2003).

La perte finale de demande est considérée par interruption de certains tronçons. Etant donné qu'une grande part de la perte finale est composée par le total cost increase, les deux graphiques sont très semblables. L'augmentation du coût du transport joue en effet un faible rôle. Les entreprises de manufactures situées au nord souffriraient beaucoup plus d'une interruption du trafic que les zones agricoles situées au centre de la carte, en partie grâce au fort facteur de résilience des activités agricoles.

Contrairement aux deux premiers graphiques, l'augmentation du coût de transport est moindre et spatialement mieux répartie. Ce coût dépend du volume du trafic ainsi que de la topologie de réseau.

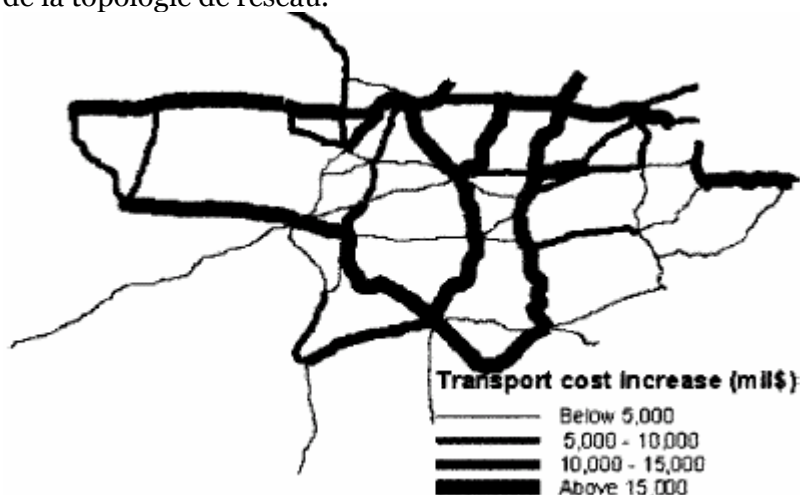


Figure 43: Ttransport cost increase. (Sohn et al., 2003).

Cette méthode peut donc donner des indications sur les tronçons vitaux pour l'économie régionale afin de mettre en place une politique de priorité des mises à niveaux des infrastructures au risque sismique.



Chang S, Shinozuka M, **Life-cycle cost analysis with natural hazard risk**, *Journal of infrastructure systems*, Vol2, No3, september 1996, pp 118-126.

Commentaires : ce texte propose une méthode de calcul du coût du cycle de vie d'un pont, en prenant en compte l'aléa sismique et le coût pour les usagers des interruptions de trafic. L'exemple présenté est détaillé, ce qui permet de réaliser le nombre de paramètres et d'hypothèses nécessaires pour réaliser cette étude et éventuellement de l'appliquer à d'autres cas.

La notion de coût du cycle de vie n'est pas nouvelle, mais elle est depuis peu utilisée dans la gestion des infrastructures. Le principe est assez simple : pour une structure donnée, on calcul l'ensemble de tous les coûts attendus, de la construction à la fin de la vie de la structure. Cette méthode permet de comparer deux structure par rapport au premier investissement, leur construction, mais également par rapport à leur entretien. Le problème est que pour le moment, le cycle de vie n'intègre pas les coûts associés aux différents risques naturels, notamment les séismes. Ces coûts varient fortement d'une région à une autre, mais dans les régions à forte sismicité, ces coûts peuvent jouer un grand rôle dans le budget total du cycle de vie. Dans le séisme de Northridge, il a été montré que les pertes liées au manque de transport et les coûts de réparation ont été supérieurs à ceux de toutes les autres infrastructures confondues. Ce texte développe le principe du cycle de vie pour les ponts en incluant le risque sismique.

Le cadre du cycle de vie :

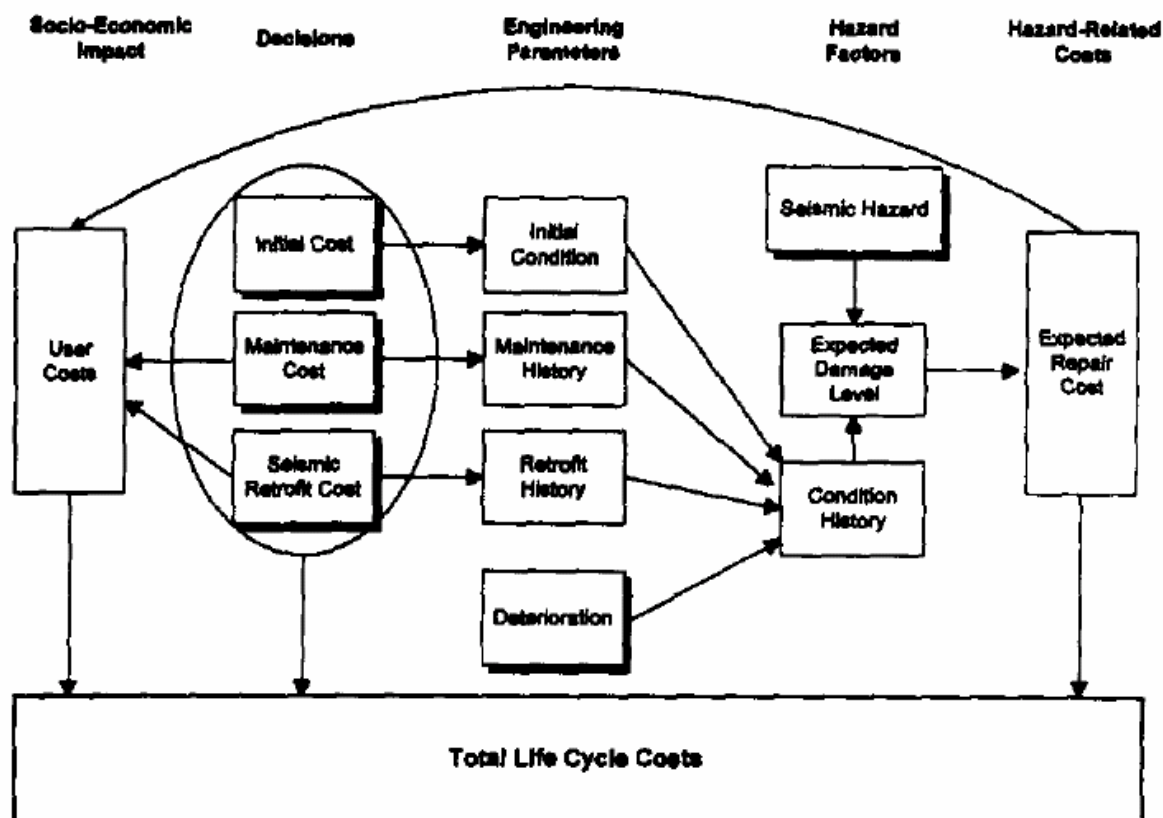


Figure 44 : Life-cycle cost framework. (Chang, Shinozuka, 1996)

Le coût du cycle de vie peut être décomposé en 4 catégories :

$$C=C_1 + C_2 + C_3 + C_4,$$

**C** : le coût total du cycle de vie

**C1** : les coûts du maître d'ouvrage et les coûts planifiés. Ils incluent les coûts de construction ainsi que les principaux travaux de maintenance, étendus aux coûts de réparations après séisme.

$$C_1 = C_i(x) + C_m(x) + C_s(x)$$

$C_i$  est le coût initial de construction,  $C_m$  le coût de maintenance payé par le propriétaire,  $C_s$  le coût d'un séisme pour le propriétaire.

Le coût de la maintenance et l'intervalle entre deux maintenances dépendent du type de structure. Le coût de mise à niveau (retrofit) au séisme n'est appliqué qu'une fois au cours de la durée de vie de l'ouvrage, à un instant  $t$  du futur.

**C2** : les coûts pour les utilisateurs liés à  $C_1$ . Ces coûts sont dus aux interruptions de service pour les usagers. Ils sont décomposés en coût de maintenance (fermeture d'une voie ou plusieurs pendant la période des travaux) et en coûts liés à la mise à niveau (retrofit) au séisme (fermeture pendant la période d'amélioration de la structure).

**C3** : les coûts non planifiés pour le propriétaire. Ils consistent en coûts liés à la performance de la structure et associés au coût de réparation lors de séismes. Ces coûts sont donc des coûts de réparation après séisme.

**C4** : les coûts pour les utilisateurs liés à  $C_3$ . Ce sont les pertes économiques dus à l'arrêt de la structure après un séisme. Ils dépendent donc de la gravité des dommages et du temps nécessaire aux réparations.

Afin de calculer le coût total, de nombreuses données sont nécessaires :

- Pour une structure définie : le coût de construction initial, le programme de maintenance et les coûts associés, les activités de remise à niveau de la structure (si nécessaire) et les coûts associés ainsi que les coûts liés à l'arrêt de l'activité pour ces différents travaux.
- Un taux d'actualisation et un cadre temporel.
- Une estimation du coût pour l'utilisateur de la fermeture de la structure.
- Un ou plusieurs scénarii de dommages, avec le coût de réparation et la durée de fermeture de l'infrastructure.
- Des informations sur la situation locale des séismes ainsi qu'une courbe de fragilité de la structure pour estimer sa fiabilité.
- Les taux de détériorations relatifs aux détérioration naturelles, aux activité de maintenance et de mise à niveau pour un séisme (seismic retrofit).

Sans l'ensemble de ces données, l'estimation ne serait pas précise et donc pas intéressante pour une étude de coûts comparés.

L'exemple du George Washington Bridge de New York est développé dans la suite du texte. Le choix des paramètres est expliqué précisément.

Type of cost (1)	Case 1: traditional (\$ units) (2)	Case 2: with hazard (\$ units) (3)	Case 3: with retrofit (\$ units) (4)
C1 (owner, planned)	1,000	1,000	1,000
Initial	24	24	24
Maintenance	N.A.	N.A.	14
Retrofit			
C2 (user, planned)	100	100	100
C3 (owner, unplanned)	N.A.	165	82
C4 (user, unplanned)	N.A.	82	41
[Total costs]	[1,124]	[1,371]	[1,261]

Figure 45 Life cost with natural hazard. NA=Not Applicable . (Chang, Shinozuka, 1996)

Tesina : Modelo para el estudio de la vulnerabilidad de los servicios técnicos urbanos frente a los riesgos naturales

De cet exemple, il est à noter qu'il ressort clairement que le coût de la mise à niveau aux normes sismiques est compensé par le gain obtenu en cas de séisme. Cependant, la sensibilité du choix des paramètres est ensuite testé, et il ressort alors que lorsque les investissements de mise à niveau sont élevés, ils ne sont rentables que lorsque la région de localisation est fortement sismique.

Shimizu Y, Yamazaki F, et al, **Development of real-time safety control system for urban gas supply network**, *Journal of geotechnical and geoenvironmental engineering*, Vol 132, No 2, fevrier 2006, pp 237-249.

Commentaires: ce texte décrit un système de contrôle en temps réel de l'état des canalisations de gaz pour une action rapide en cas de séisme. Ce système, SUPREME, est déjà mis en place à Tokyo. Le but est de diminuer les accidents dus à des fuites de gaz sur les canalisations à faible pression et non de les renforcer pour empêcher leur rupture. Le système mis en place est particulièrement intéressant puisqu'il est automatisé et prend compte des effets de site tels que la liquéfaction du sol.

Le gaz de ville est un important réseau d'énergie. Le réseaux de gaz est plus sensible que d'autres réseaux aux séismes. Les fuites provoquées par des casses peuvent provoquer de graves incendies ou même des explosions. Pendant le séisme de Kobe, 8 des 175 incendies étaient dus aux canalisations de gaz. La procédure normale est de fermer l'alimentation en gaz, ce qui fut fait sur 185 000 points. 85 jours ont été nécessaires pour remettre en route l'ensemble du système d'alimentation. Il a fallu 15h au moment du séisme pour permettre l'arrêt du système. De tels délais sont à éviter. Il est donc nécessaire de collecter des informations sur l'état du système en temps réel et de prendre rapidement des mesures.

Un tel système, qui collecte les données et se charge des mesures à prendre, a été mis en place à Tokyo en juin 1994. Il contient 322 transducteurs d'intensité spectrométrique (SI), 20 capteurs de liquéfaction et 5 séismographes.

Récemment, afin de parfaire ce système, un nouveau séismographe miniature appelé « New SI Sensor » a été développé. Ce nouvel appareil détermine la SI plus précisément, détecte le début d'un train d'onde de liquéfaction et transmet l'historique de l'accélération sismique au quartier général de surveillance. Le système de sécurité SUPREME (super-dense realtime monitoring of earthquakes) a donc été mis en place, comportant 3800 de ces nouveaux capteurs SI.

#### Présentation du système support :

Le système SUPREME est encore supporté par des mesures de sécurité conventionnelles, que nous allons donc présenter.

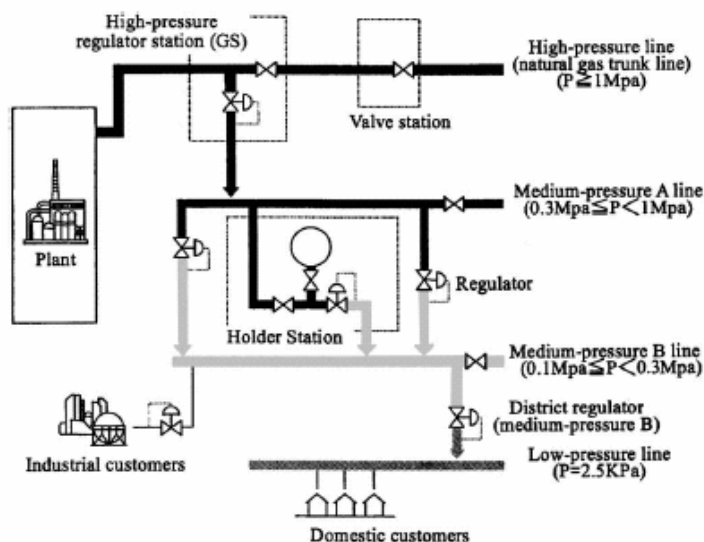


Figure 46 diagramme schématique du réseau de gaz de Tokyo (Shimizu Y et al, 2006).

Environ 9,6 millions de clients sont alimentés par ce réseau.

Traditionnellement, les efforts pour réduire le risque sismique sont concentrés sur les canalisations de forte et moyenne pression. L'état du gaz dans ces canalisations est contrôlé par télé-monitoring 24h/24, les matériaux, l'entretien... sont adaptés à des conditions sismiques extrêmes. Par contre, les canalisations de faible pression sont laissées aux hasards du séisme. En effet la longueur totale est trop importante pour pouvoir tout gérer en période de crise et les canalisations situées sur le terrain des clients sont la propriété du client : il n'est donc pas possible d'intervenir dessus.

En conséquence, les canalisations à faible pression vont connaître de forts dommages lors d'un séisme important. Il est donc important de couper rapidement l'alimentation en cas de séisme. La sécurité est donc assurée par des capteurs SI sur les réducteurs de pression (passage de moyenne à faible pression) et par des « intelligent meter » installés à la connexion des installations individuelles qui stoppent l'alimentation si l'accélération sismique est supérieure à 200cm/s<sup>2</sup>. SI a été défini par Towhata et al (1996) comme :

$$SI = \frac{1}{2.4} \int_{0.1}^{2.5} SV(20\% \text{ critical damping ratio})dT$$

avec SV la vitesse relative de réponse du spectre observé pendant la période T allant de 0,1 à 2,5s. Si SI dépasse 30 ou 40 cm/s, le réducteur de pression est automatiquement arrêté.

#### Amélioration du système après 1995 :

Après 1995, certains points sensibles nécessitant des améliorations ont été repérés :

- Les vannes d'arrêt des circuits basse pression doivent être particulièrement fiables,
- L'arrêt doit être automatique car en cas de désastre, les techniciens ne sont pas toujours présents.
- Pour une meilleure prise de décision, un grand nombre d'informations sur le séisme est nécessaire.
- La géologie locale doit être prise en compte pour les phénomènes de liquéfaction notamment par interpolation des données
- Le SIG doit faciliter cette interpolation.
- Les données sur les séismes mineurs doivent être accumulées et analysées pour avoir des données locales sur la nature des réponses aux séismes.

SUPREME a été développé à partir de ces hypothèses.

#### Le système SUPREME :

Les 3800 stations de régulation du circuit basse-pression ont été équipées de nouveaux capteurs SI. La diffusion des informations se fait soit par réseau sans fil, soit par le réseau classique téléphonique. Ce dernier réseau est moins fiable en cas de séisme mais les coûts de mise en place sont beaucoup moins élevés. En cas de séisme, la transmission des informations de ces lignes est prioritaire dans le service de télécommunications.

Lorsque les SI détectent des vitesses de plus de 60cm/s (environ 2,2km/h), le circuit de basse pression est coupé. Si les vitesses sont comprises entre 30 et 60cm/s, la décision de couper le circuit est prise avec un complément d'information venant des détecteurs alentours. Les circuits de basses pressions sont divisés en sous-bloc disposant au moins de 3 moniteurs à réseau sans fil sur les 30 à 50 dont il dispose. Les blocs peuvent être isolés par des valves et coupés indépendamment les uns des autres. Et ce dès que les mouvements atteignent 30 à 40 cm/s.

L'alimentation peut donc soit être coupée par les données d'un seul capteur sur une seule canalisation, soit sur l'ensemble d'un bloc par le système SUPREME.

En cas de séisme important, 850 des 1200 vannes se couperont automatiquement, les autres valves seront coupées par SUPREME au plus tard 1h après le début du séisme. Sans SUPREME, 48h seraient nécessaires aux employés pour aller fermer les valves.

Chaque sous-bloc de 0,9km<sup>2</sup> est équipé d'un moniteur qui peut également interpoler les données du sous-bloc avec celles d'un réseau de 60000 puits de sonde de la municipalité ou de la compagnie du gaz. L'interpolation permet de donner des valeurs de SI sur une surface plus importante et avec plus de précision.

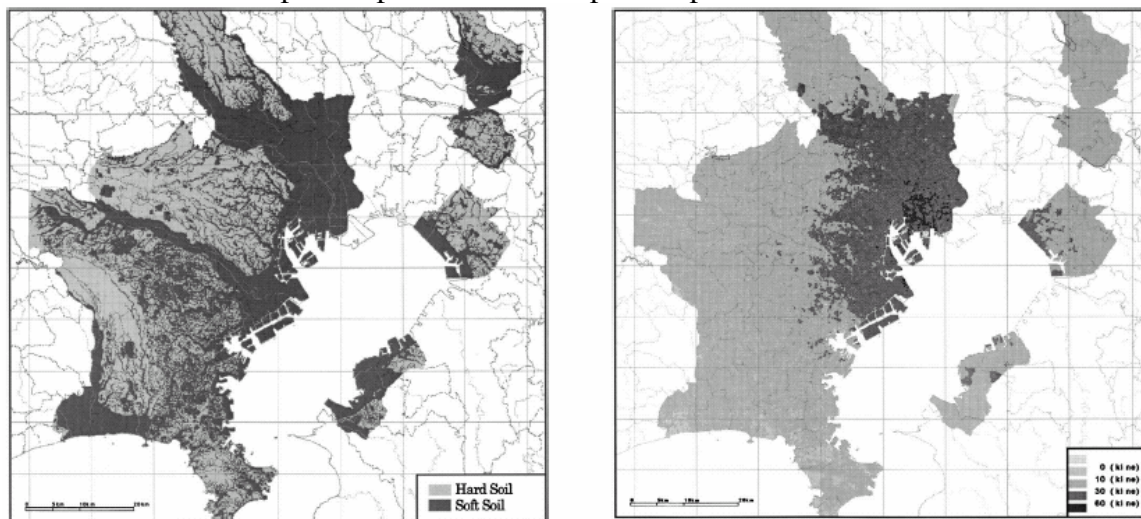


Figure 47: géologie de Tokyo et simulation de SI pour un séisme de magnitude 7,2 (Shimizu Y et al,2006).

La liquéfaction des sols est mesurée grâce à un capteur mesurant le niveau d'eau dans un puit doté de filtres. Les endroits où la vitesse est élevée et où le sol est en liquéfaction sont particulièrement sensibles. Les points de liquéfaction sont interpolés afin d'obtenir un profil de liquéfaction.

Afin de décider si les sous-blocs doivent être fermés, une fonction R est utilisée, fonction des dommages contrôlables  $R_0$  (2,6/km) et de coefficients dépendants du type de canalisation, du type de sol, de la liquéfaction :  $R=R_0 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot \Phi$ , avec  $\Phi$  une fonction des SI relevés.

Table 3. Assessment of Damage Rate of Pipelines Undergoing Very Strong Earthquake

Coefficient	Value	Item
C1 (type of pipeline joints)	1.0	For screw-joint steel pipe
	0.83	For bell-joint cast iron pipe
	0.27	For flange-joint ductile cast iron pipe
	0.02	For mechanical-joint ductile cast iron pipe
	0.07	For mechanical-joint steel pipe
C2 (surface geology)	1.65	For cuts and fills in hill/terrace area
	2.24	In narrow valleys (width < several hundred meters) in hilly area
	1.00	For alluvial plane with SPT-N < 10
	0.87	For alluvial deposit with SPT-N > 10
C3 (extent of liquefaction)	2.35 - 1.35 cos( $\pi H/10$ )	When the assessed thickness of liquefaction (H) < 10 m
	3.7	When H > 10 m
$R_0$ (peak damage rate)	2.36	The peak damage rate for screw-joint steel pipe buried at alluvial plane with SPT-N < 10

Note:  $\Phi(SI) = [\log_e(SI) - 4.305] / 0.509$ .

Figure 48 coefficients de la fonction de dommages (Shimizu Y et al,2006).

Les dommages commencent à partir de 30 à 40 cm/s, d'où les valeurs choisies pour l'arrêt automatique des valves.

Le système s'est déjà révélé utile lors de divers séismes mineurs et va continuer être développé et amélioré.

Menoni S et al, **Lifelines earthquake vulnerability assessment: a systemic approach**, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, vol 22, 2002, p 1199-1208

Commentaires : Ce texte propose une analyse par réseau et par site de la vulnérabilité de ceux-ci, basée sur leurs caractéristiques physiques, fonctionnelles et organisationnelles, pour un risque sismique. Cette méthode se base sur une analyse qualitative puis, par introduction de divers paramètres, donne un résultat quantitatif sous forme d'un index de 0 (pas vulnérable) à 1 (très vulnérables). L'intérêt est de pouvoir comparer les vulnérabilités des réseaux sur un même site ou sur des sites différents. De plus, il est possible, en changeant des paramètres par introduction d'une meilleure gestion ou de canalisations de secours, de voir l'évolution de la vulnérabilité. Cela permet donc de juger des différentes méthodes de diminution de cette vulnérabilité. Comme l'utilisation paraît relativement simple, cet outil paraît intéressant à développer pour d'autres risques.

Depuis les années 90, les Etats-Unis comme le Japon se sont penchés plus précisément sur le comportement des infrastructures face à un séisme. En plus des caractéristiques intrinsèques au réseau, les interactions mutuelles ont été prises en compte, reconnaissant ainsi le caractère d'inter-dépendance des infrastructures.

L'Italie a elle aussi décidé d'étudier les comportements face aux séismes, en deux temps. Tout d'abord en construisant un cadre conceptuel et en le testant sur les événements de ces 10 dernières années et ensuite en construisant des scénarios sur les comportements des infrastructures en période de séisme. La première partie des recherches est résumée dans ce document.

La composition d'un réseau est complexe, ce qui empêche l'étude de celui-ci par morcellement. De plus, les réseaux dépendent les uns des autres, ce qui est leur plus grande caractéristique.

La connexion au monde extérieur peut être vue de deux manières : d'une part le réseau dessert des clients, et d'autre part il circule dans un environnement qui peut être source de dommages.

L'objet de l'étude était de développer un modèle pour estimer la vulnérabilité des réseaux à un séisme, considérant les facteurs physiques, fonctionnels et organisationnels. Le résultat consiste en un ensemble de paramètres mesurant la performance des réseaux face au séisme dans une région donnée.

La notion de vulnérabilité systémique est le cadre sous-jacent de la méthode proposée : ce qui peut être mesuré sont les dommages sur un réseau de par une destruction de l'un de ses éléments mais aussi par effet indirect de dommages physiques, fonctionnels ou organisationnels sur un autre réseau.

Les matrices d'évaluation ont été différenciées pour la phase d'urgence et la phase de reconstruction. En effet, les attentes et les besoins ne sont alors pas les mêmes. (voir figure 1)

A partir de ces matrices, il est alors possible d'étudier les réseaux dans un cadre bien défini.

Les trois causes de dysfonctionnement sont reprises dans des colonnes :

Tesina : Modelo para el estudio de la vulnerabilidad de los servicios técnicos urbanos frente a los riesgos naturales

- Le problème fonctionnel représente le problème de la vulnérabilité de l'ensemble des réseaux lors du disfonctionnement d'un point clef : station de pompage défectueuse, autonomie des appareils...
- Le problème organisationnel correspond à la coordination des responsables de réseau, de la cellule de crise...
- Le problème physique s'entend comme vulnérabilité de chacun des éléments du système.

Pour chacun de ces points, trois échelles sont considérées :  
La performance des systèmes, leur implantation et la vulnérabilité régionale à la perte d'infrastructure.

Pour la gestion de la reconstruction, les dommages sont supposés déjà avérés et on ne prend donc plus en compte la vulnérabilité physique.

Table 1  
Form to assess lifelines seismic vulnerability in emergency phase

		<i>FUNCTIONAL</i>	<i>ORGANIZATIONAL</i>	<i>PHYSICAL</i>
<b>PERFORMANCE</b>	Induced by other systems	FUN P 1 Dependence on other systems	ORG P 1 Inter agencies cooperation	PHY P 1 Physical vulnerability of systems which lifelines are physically connected
	Inter-systemic lifelines dependence	FUN P 2 Dependence on other lifelines	ORG P 2 Cooperation among lifelines companies	PHY P 2 Physical vulnerability of lifelines essential for the function of other lifelines
	Within an individual line	FUN P 3 Specific lifeline features	ORG P 3 ⇒ Organization within each company ⇒ Number of companies for each lifeline ⇒ Manual controls in case of automatic controls failure	PHY P 3 Vulnerability of each lifeline component
<b>SITING</b>	Accessibility	FUN S 1 Direct access to broken points along lines	ORG S 1 ⇒ Coordination between civil protection and companies in charge of roads management ⇒ Knowledge of alternative accesses ⇒ Available personnel, materials and means to be used for urgent operations	PHY S 1 Physical vulnerability of roads
	Vulnerability due to the physical contact among lifelines	FUN S 2 Function depending on physical contact with other physical vulnerable lifelines	ORG S 2 Coordination among lifelines service suppliers	PHY S 2 Physical vulnerability of single component in contact points
<b>REGIONAL vulnerability to infrastructures loss</b>	Urban and regional systems for emergency operations	FUN R 1 Degree of functional dependence of emergency systems on lifelines	ORG R 1 ⇒ Coordination among hospitals, civil protection, police and other agencies ⇒ Communication skills to the public	PHY R 1 Physical vulnerability of systems other than lifelines necessary during emergencies
	Other systems	FUN R 2 Degree of functional dependence of other urban systems on lifelines	ORG R 2 Coordination among lifelines suppliers and persons in charge for other systems	PHY R 2 Physical vulnerability of systems other than lifelines

Figure 49 vulnérabilité des réseaux aux séisme, phase d'urgence (Menoni et al, 2002)

Lors de la réalisation pour un réseau de cette étude, les paramètres sont exprimés selon un barème : oui/non, unique/multiple, <1h/>1h....pour chaque paramètre, on détermine lequel des booléens du barème est le plus défavorable.

Après avoir réalisé ce tableau, le but est d'obtenir une note normalisée par réseau de chaque site. La vulnérabilité normée sera donc issue de la vulnérabilité de chaque élément du réseau et de la vulnérabilité du système en général.

Pour établir la vulnérabilité, chaque élément est considéré comme critique ou non (valeur 0 si non critique ou 1 si critique) et un poids de 1 à 3 est assigné à chaque paramètre, et un coefficient de vulnérabilité est associé à chaque situation.



Pour chaque site, on peut calculer cette indice de vulnérabilité et le diviser par le nombre total de point possible pour obtenir un index compris entre 0 et 1 pour chaque infrastructure. 1 correspond au niveau le plus vulnérable.

Sur la figure ci-dessous, les vulnérabilités de plusieurs réseaux sont comparées avec cette méthode sur différents sites.

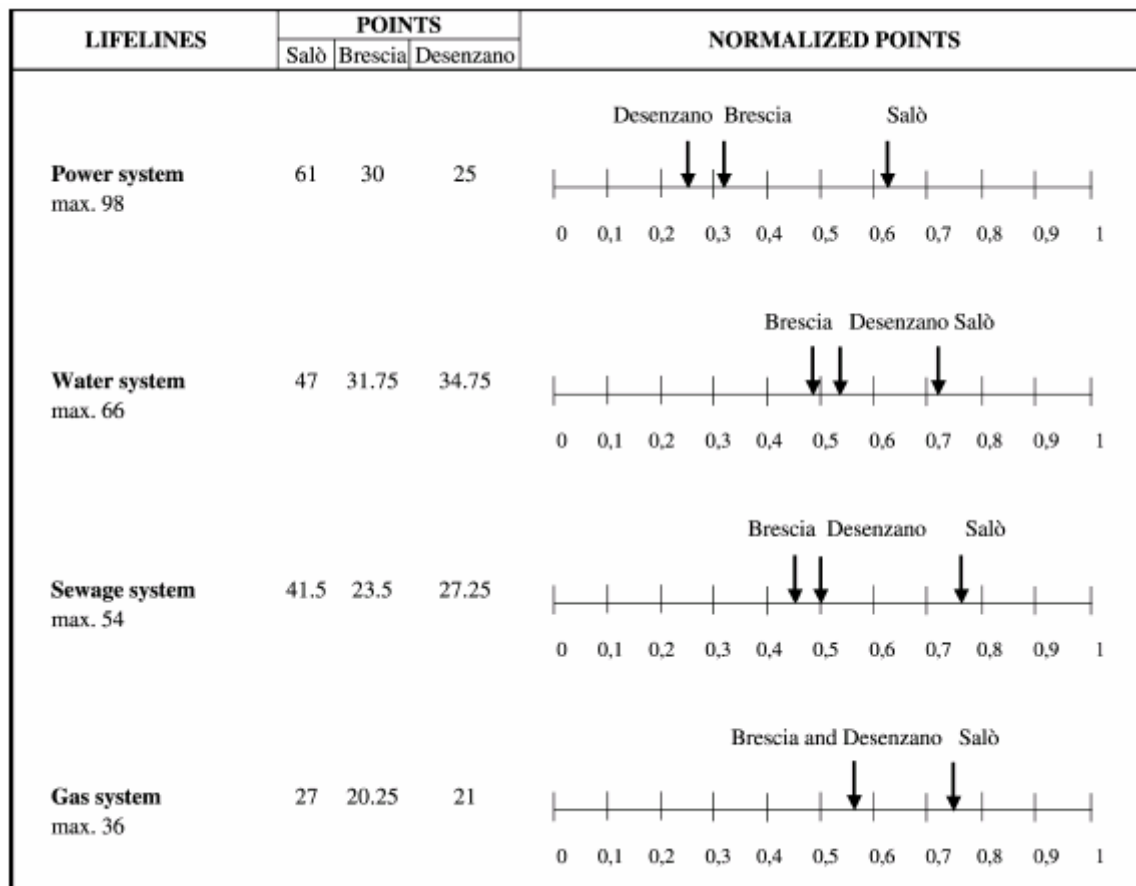


Figure 50 : extrait du tableau d'index de vulnérabilité en phase d'urgence. (Menoni et al, 2002)

Chang S, Nojima N, **Measuring post-disaster transportation system performance: the 1995 Kobe earthquake in comparative perspective.** *Transportation Research Part A: Policy and Practice, Volume 35, Issue 6, July 2001, Pages 475-494*

Commentaires: Ce texte propose une méthode pour quantifier la performance des infrastructures de transport après un séisme. Cette méthode pourrait tout à fait être utilisée pour d'autres aléas, même s'ils ne sont pas présentés. En effet, les données nécessaires à l'application de cette méthode sont des données sur le réseau, une modélisation sous forme de nœuds et de quartier et les données de transit avant et après la catastrophe. Pour pouvoir suivre l'évolution de la remise en état du réseau, il est préférable d'avoir des séries de données de transit régulièrement, jusqu'à remise en état des réseaux. La division en quartier est intéressante pour suivre l'évolution des disparités, mais n'est pas nécessaire pour une première approche ou pour une approche globale, d'autant plus que ces développements sont plus compliqués à mettre en place.

Les derniers événements sismiques en milieu urbain ont nettement montré l'importance économique des routes principales. En 1994, le séisme de Northridge à Los Angeles a été le facteur d'une perte de 6.5 billion \$ due à l'interruption des activités économiques dont 1.5 billion peuvent être imputé aux manques de moyens de transport après le séisme.

Alors que les scientifiques se penchent depuis longtemps sur la résistance des ponts en cas de séisme, il reste encore rare de considérer le système routier dans sa globalité pour une étude d'impact.

Différents systèmes de mesure de performance ont été développés pour éprouver la résistance des infrastructures de type eau, électricité...qui est mesurée à partir de points de consommation, les nœuds du réseau. Cette démarche ne peut pas être utilisée pour les routes qui sont empruntées dans leur ensemble. Par contre des indicateurs d'appréciation de la qualité des transport ont été développés en dehors du contexte des tremblements de terre.

Cette article reprend les principes de mesure de qualité du trafic et les applique au cas de tremblement de terre, notamment celui de Kobe.

La mesure de la performance du système : le cas de Kobe.

Pour juger de la qualité du réseau, trois mesures de performance sont nécessaires :

- La longueur totale du réseau, L
- L'accessibilité totale basée sur la distance, D
- L'accessibilité surfacique basée sur la distance, Ds (areal distance-based accessibility).

Ces mesures de performance prennent des valeurs de 0 à 1, 0 correspond à un système qui ne fonctionne pas, 1 à un système entièrement fonctionnel. Ces coefficients sont estimés à partir du ratio du fonctionnement après séisme sur le fonctionnement avant séisme.

Les deux premiers indices jugent du réseau dans sa globalité alors que le dernier concerne des sous-régions et montre donc les disparités de performance.

Ces mesures sont spécifiques à un temps t après le séisme.

L est le rapport entre la longueur du réseau ouvert après séisme sur la longueur avant séisme :

$$L(t) = \frac{x(t)}{\bar{x}}$$

**Figure 51 : L, longueur de réseau ouvert.**

Cette longueur dépend donc uniquement de l'étendue des dommages.

D est basé sur les distances minimum de parcours et tient donc compte à la fois de l'étendu et de la localisation des dommages.

$$D(t) = \frac{f - A(t)}{f - 1},$$

where

$$A(t) = \frac{\sum_i \sum_j d_{ij}(t)}{\sum_i \sum_j d_{ij}}, \quad 1 \leq A \leq f,$$

**Figure 52 définition de D(t) et A(t)**

A est le ratio de l'accessibilité totale, d'un point i à un point j, avec  $d_{ij}(t)$  la mesure du trajet minimum entre i et j après séisme et  $d_{ij}$  avant séisme, f est un multiplicateur de la distance effective du parcours.

Le réseau de transport est donc représenté par des nœuds reliés par le réseau. Pour le réseau ferré, une station représente un nœud. Pour les nœuds de jonction entre routes express, ceux-ci sont représentés mais ne rentre pas en compte dans le calcul.

Pour les réseaux endommagés, la liaison entre deux nœud est multipliée par F(k), un multiplicateur tenant compte de l'état de dégradation k du réseau. Il représente l'augmentation du temps nécessaire au parcours sur une route dégradée.  $1 < F(k) < f$  pour les routes moyennement endommagées. Lorsque le route est très endommagée et impraticable, F(k) prend la valeur de f. L'appréciation de ces valeurs est arbitraire et rend cette estimation suggestive. Lorsqu'une liaison est très endommagée, le passage par d'autres nœuds du système est envisagé est peut se révéler plus intéressant.

$$D_s(t) = \frac{f - A_s(t)}{f - 1}, \quad A_s(t) = \frac{\sum_{j \neq i} w_{ij} d_{ij}(t)}{\sum_{j \neq i} w_{ij} d_{ij}}, \quad w_{ij} = \frac{1}{n_r - \delta_r} \cdot \frac{v_{sr}}{\sum_p v_{sp}}, \quad i \in N_s, \quad j \in N_r,$$

$$A_i(t) = \frac{1}{n_s} \sum_{i \in N_s} A_i(t), \quad \text{where} \quad \delta_r = \begin{cases} 1 & \text{if } r = s, \\ 0 & \text{if } r \neq s, \end{cases}$$

**Figure 53 : définition de Ds , As, Ai et wij.**

Ds(t) est l'accessibilité d'un quartier s au temps t, As(t) le ratio d'accessibilité du quartier s au temps t, Ai(t) le ratio d'accessibilité du nœud i au temps t, ns le nombre de nœud dans le quartier s, Ns est l'ensemble des nœuds du quartier s, wij le « poids de destination » au nœud j pour quelqu'un arrivant de i. Ces poids sont calculés à partir des données avant-séisme : vsr est le volume du trafic de s à r et  $\delta_r$  l'indicateur pour un même quartier source ou destination.

Performance du système :

Le 17 janvier 1995, le séisme de Hyogoken-Nanbu a causé de nombreux dommages sur les routes, notamment sur la route 3 qui draine 40% de la circulation est-ouest entre Kobe et Osaka. Suite à des dommages ou l'effondrement de 28 travées sur le secteur de Kobe, 28km de routes ont été fermées au trafic. Il fallut 20 mois pour reconstruire en entier cette route et la rouvrir sur toute cette portion.

Pour réaliser l'étude liée au trafic, un réseau de 63 nœuds a été créée. Pour calculer D, seuls les nœuds d'origine situés à Kobe ont été pris en compte. De plus, f a été choisi égal à 5 et les réajustements de parcours n'ont pas été fait si suite à un dommage, un parcours secondaire se révélait plus rapide.

Les données récupérées auprès de la Japan Highway Public Corporation ont servi à construire une mesure de restauration du volume de trafic, T. La mesure du trafic par section étudiée a été multipliée par la longueur de la section considérée puis ajoutée au total du trafic en voiture\*kilomètre sur le domaine global d'étude. Cette valeur est normée par la valeur du trafic avant le séisme. Quand T=1, le trafic est revenu au niveau d'avant le séisme.

Pour vérifier la cohérence des données, différentes valeurs de f ont été testées et les écarts sur les valeurs de D n'ont pas excédé 1%.

Les mêmes raisonnements ont été menés pour le système ferroviaire. Après avoir recueilli les valeurs correspondantes des autres réseaux, un parallèle a pu être établi :

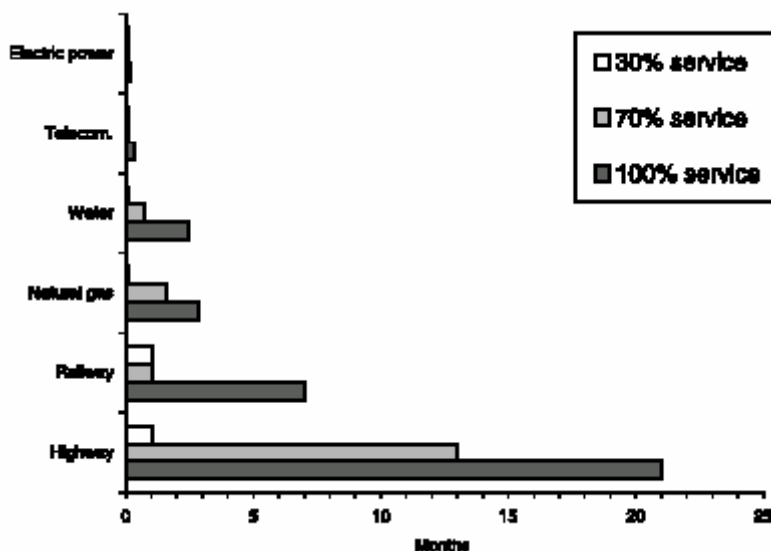


Figure 54 : temps de restauration des infrastructures après le séisme de Kobe en 1995.

Le calcul de l'accessibilité par quartier,  $D_s$ , montre que le centre de Kobe, qui abrite 44% de la population de la ville, est la partie de la ville ayant la plus faible accessibilité après le séisme. Les disparités entre les quartiers ont mis longtemps à s'effacer après le séisme, les quartiers mal desservis le restant longtemps.

Il est à noter que les endroits ayant le plus de dommages au niveau des routes ne sont pas corrélés avec les endroits ayant le plus de dommages sur voies ferrées.

L'article propose la même application sur deux autres sites : Loma Pietra (séisme de 1989) et Northridge (séisme de 1994).

	1989 Loma Prieta	1994 Northridge	1995 Hyogoken-Nambu (Kobe)
Pre-earthquake network redundancy	Moderately low	High	Low
Damage to network	Concentrated	Concentrated	Extensive
Most disruptive damage	Bay Bridge	I-10, I-5/SR-14	Hanshin Exp. #3
Detours during reconstruction?	No	Yes, Yes	No
Restoration completed at	1 month	3 months, 10 months	20 months
System Performance <sup>a</sup> : Measure L	0.87	0.89	0.14
Measure D	0.90	0.95	0.14

<sup>a</sup> Immediately after earthquake.

Figure 55: comparaison de l'impact de séismes sur les réseaux de transport.

Cette méthode permet de quantifier la destruction ou la non utilisabilité du réseau de transport après une catastrophe et l'évolution de sa restauration.

Chang S<sup>15</sup>, **Evaluating disaster mitigations : methodology for urban infrastructure systems**, *Natural Hazard Review*, November 2003, Vol4, No4, pp186-196

Commentaires: Ce dossier permet une approche de la gestion de la mitigation en tenant compte de l'ensemble du cycle de vie du réseau. Cette démarche, qui combine vieillissement naturel et aléa, est donc plus complète que la plupart des estimations. Cependant, cette démarche nécessite de nombreuses données sur le réseau et est difficile à mettre en œuvre. Cependant, les concessionnaires de réseaux possèdent l'ensemble de ces données et sont les premiers concernés par une telle étude.

La perte d'infrastructure en cas de désastre peut causer des pertes substantielles: impossibilité d'éteindre les incendies, évacuation de la population, pertes économiques...Il a plusieurs fois été montré que les pertes économiques indirectes pouvaient être plus élevées que le coût des réparations des infrastructures ayant, par leur destruction, engendré ces pertes. Une des applications de HAZUS, la méthodologie standardisée d'estimation des pertes pour un séisme développée par la Federal Emergency Management Agency (FEMA), est d'évaluer la mitigation du désastre. Cependant, HAZUS<sup>16</sup> ne tient pas compte des impacts économiques et sociétaux liés à la perte des infrastructures, alors qu'il les prend en compte pour le cas des bâtiments. Deux études ont déjà été conduites pour évaluer la mitigation des infrastructures, mais elles ne tiennent pas compte de l'évolution des infrastructures, de leur détérioration, sur le long terme.

L'analyse du coût du cycle de vie est une approche économique qui permet à l'analyste de prendre en compte les évolutions des infrastructures dans le temps, telles que la détérioration, les coûts de maintenance et l'étalement de la ville.

Ce texte adapte et applique le cadre d'une étude précédente, sur le coût du cycle de vie étendu aux aléas naturels, au réseau d'eau potable de Portland.

#### Cadre d'étude :

Soit C le coût total du cycle de vie :

$$C = C_1 + C_2 + C_3 + C_4$$

C<sub>1</sub>= coûts prévus et supportés par l'agence concernée (agence responsable de l'infrastructure). C<sub>1</sub> inclus les coûts de maintenance C<sub>m</sub> et les coûts de mitigation du séisme, C<sub>s</sub>. Les coûts de maintenance dépendent pour chaque éléments du matériaux et de son âge.

C<sub>2</sub>= coûts associés supportés par la société, par exemple lors des interruptions de service pour maintenance. Ces coûts ne sont pas pris en compte dans une analyse courante.

C<sub>3</sub>= coûts prévisibles associés à un séisme, supportés par l'agence mais n'apparaissant pas dans son bilan. Ce sont à la fois les coûts de réparation C<sub>r</sub> et les coûts par pertes de revenus C<sub>v</sub>. C<sub>r</sub> dépend pour chaque élément du système de la probabilité annuelle de casse et du coût de la réparation. C<sub>v</sub> dépend du volume annuel perdu et du prix unitaire du produit fourni.

---

<sup>15</sup> Stephanie Chang, research assistant professor, departement of geography, Univ. of Washington.

<sup>16</sup> Pour un développement de la méthode HAZUS, voir la comparaison de Sohn J. dans « Retrofit Priority of transport Network links under an earthquake. », décembre 2003, entre HAZUS et la méthode qu'il introduit et le dossier de mai 2006 de la revue : Natural Hazards Review.

C4= coûts associés à un séisme imposé à la société. Dans cette étude on ne prend en compte que le coût de l'interruption économique ou de la perte directe. La perte annuelle dépend des pertes directes lors du séisme et du temps de restauration des activités.

Toutes les équations correspondantes sont présentées dans l'article.

#### Etude de cas : le réseau d'eau potable de Portland.

Le réseau d'eau potable de Portland alimente 840 000 personnes dans une région modérément sismique. 148 millions de m<sup>3</sup> ont été consommés en 1999, dont 45% par 11% des abonnés : les commerces, industries et services (hôpitaux). L'eau provient d'un bassin versant situé à 26 miles de la ville et de captage de secours d'eaux souterraines. Le réseau est composé de 29 stations de pompage et de 69 réservoirs.

Le réseau a été commencé il y a plus de cent ans, 57% est antérieur à 1950. Depuis les années 60, des canalisations en fonte ductile ont été mises en place.

Deux séismes dommageables ont sévis en 1962 et 1993, avec des magnitudes de 5,5 et 5,6. La région a connu un séisme de magnitude 9 vers 1700.

Une étude de risque a été menée sur le site et le risque sismique apparaît comme le deuxième plus probable après "*rain-on-snow*".

Le secteur de distribution a été étudié selon 9 zones correspondant à des zones de pression différentes.

L'étude consiste en la comparaison de 3 méthodes de mitigation :

- Le statu-quo
- Un programme de remplacement des canalisations dans les zones les plus vulnérables en installant des canalisations en fonte ductiles là où le sol risque la liquéfaction
- Un programme d'élévation de la résistance au séisme des réservoirs et des stations de pompage ainsi que du réseau de transmission principal.

A partir de données sur l'état actuel du réseau, sur le taux de renouvellement et le développement du réseau, il a été évalué que le taux de canalisations en fonte ("*cast iron*") passerai de 72% en 2000 à 49% en 2050 et que le taux de canalisations de plus de 80 ans passerai de 31% à 48%. Ceci implique un taux de casse toujours plus élevé au cours des années. Pour exemple, l'actuel réseau de 3000 km connaîtra 153 casses pour l'an 2000, avec un coût de maintenance de 995000\$, alors que ce coût sera de 1,21 million\$ en 2025 et de 1,33million\$ en 2050.

Le scénario de remplacement des canalisations en fonte par de la fonte ductile permettra non seulement de prévenir les séismes, mais également de réduire la maintenance classique puisque les canalisations seront neuves et que la fonte ductile est plus résistante.

Afin de mener les scénarii sur l'ensemble de la ville, l'âge des canalisations a été évalué en fonction de l'âge des habitations. Il a été supposé que l'ensemble des quartiers antérieurs à 1953 étaient alimentés par des canalisations en fonte et que ceux postérieurs l'étaient par des canalisations en fonte ductile. Pour estimer l'âge des 216 quartiers considérés, on a établi une fonction permettant, en fonction de la proportion de chaque type d'habitation, d'estimer l'âge moyen du quartier. Cette fonction est une régression réalisée à partir d'un quartier type connu.

Pour remplacer les 960km de canalisations situées sur un sol liquéfiable, il faudrait de nombreuses années et un budget de 380 million\$. Par contre, le coût de la maintenance prévu en cas de statut quo serait réduit de 40% en 2050.

Le scénario d'augmentation de la résistance des stations de pompage et des réservoirs ne baisserai pas les coûts de maintenance mais ne nécessite qu'un investissement de 2,1 million\$.

Afin d'estimer l'impact d'un séisme, deux scénarios ont été mis en place : l'un caractérisant un séisme de période de retour 100 ans et de magnitude 6,1 et l'autre de période de retour 250 ans et de magnitude 9. Le programme informatique SAFENET a été utilisé pour estimer les dommages causés par les deux scénarios. En tout 18 cas ont été analysés : pour chacun des deux séismes on a considéré les trois scénarios de mitigation à trois moments différents : aujourd'hui, dans 20 ans et dans 50 ans.

Pour évaluer les dommages, on a considéré que le ratio de casse en cas de séisme augmentera de 2,5 fois pour un séisme dans 20 ans et de 5 fois pour un séisme dans 50 ans à cause de la détérioration naturelle des canalisations.

L'augmentation de la population et des zones d'activités a également été prise en compte.

Les pertes de productivités ont été calculées pour le jour 1 après le séisme, à partir des données de la simulation hydraulique et calculées à partir des points de consommation qui ne sont plus alimentées. Pour parfaire le système, la durée de la non-alimentation a également été prise en compte. Elle a été calculé à partir du temps de réparation nécessaire pour chacune des installations susceptible d'être touchée. Pour un même scénario, le temps de réparation augmente si le séisme survient à long terme: la période de non-alimentation est plus importante pour une occurrence de catastrophe dans 50 ans que pour une occurrence dans 20 ans.

Earthquake scenario <sup>b</sup>	No retrofit (weeks)	Pipe replacement (weeks)	Tank and pump upgrade (weeks)
<b>Magnitude 6.1</b>			
Mollala-Canby,			
<i>T</i> = 0	4	3	4
<i>T</i> = 20	5	4	5
<i>T</i> = 50	9	7	9
<b>Magnitude 9.0</b>			
Cascadia,			
<i>T</i> = 0	12	4	11
<i>T</i> = 20	16	4	16
<i>T</i> = 50	20	4	19

<sup>a</sup>Based on average damage in 100 simulations for each case.

<sup>b</sup>*T* – index for year of analysis.

**Figure 56 : temps total, en semaines, nécessaire aux réparations selon le scénario.**

Dans ce tableau, les mesures mises en place sont donc : soit le statut quo, soit le renouvellement de canalisations, soit l'ajout de réservoirs et stations de pompage.

Pour l'économie régionale, le risque réside dans l'interruption de l'alimentation en eau lors de séisme, et ce sur une longue durée, pour les entreprises de la ville.

L'hypothèse a été faite que les premiers 5% de manque d'eau peuvent être pris sur les réserves de l'entreprise. L'ensemble des activités de Portland est concentré sur 9 zones de la ville. Il a été tenu compte du fait que chaque industrie n'a pas les mêmes besoins en eaux et que ceux-ci sont plus ou moins important pour l'activité (différence entre banque et hôpitaux par exemple).

Table 4. Life Cycle Cost Results

Cost category	Cost with no seismic retrofit (2000 \$ million)	Cost with pipe replacement (2000 \$ million)	Cost with tank and pump upgrade (2000 \$ million)
$C$ , total life cycle cost	373.1	513.7	331.7
$C_1$ , owner/planned	30.5	393.7	32.6
$C_2$ , seismic retrofit	0.0	377.9	2.1
$C_3$ , maintenance	30.5	15.8	30.5
$C_3$ , owner/seismic	3.3	1.5	3.0
$C_7$ , repair	2.3	1.1	2.1
$C_8$ , revenue	1.0	0.4	0.9
$C_4$ , user/seismic	339.2	118.5	296.1
$C^*$ , total without $C_4$	33.8	395.2	35.6

Figure 57 : coût du cycle de vie et facteur de résilience

Table 3. Industry Resiliency Factors and Output Levels

Industry	Resiliency factor	Output in 2000 <sup>a</sup> (million dollars per week)
Agriculture	0.35	1
Mining	0.48	0
Construction	0.47	31
Nondurable manufacturing	0.34	9
Durable manufacturing	0.34	54
Transportation	0.49	28
Communications/utilities	0.49	47
Wholesale trade	0.36	58
Retail trade	0.32	51
Finance, insurance, real estate	0.27	109
Business/repair services	0.33	14
Personal services	0.33	67
Entertainment services	0.33	4
Health services	0.21	31
Educational services	0.33	4
Other services	0.33	61
Total		570

<sup>a</sup>In value-added terms and in year 2000 constant dollars. Based on 1998 data, assuming 1% real annual growth rate.

$C^*$  représente les coûts supportés par l'agence de distribution de l'eau, alors que  $C_4$  représente les coûts supportés par les consommateurs. Ainsi certaines solutions de mitigation sont plus rentables pour l'agence que pour les consommateurs ou inversement.

Certains facteurs ne sont pas encore pris en compte, comme les effets indirects du séisme sur l'économie, le manque d'eau pour lutter contre d'éventuels incendie...Cependant, ce dossier montre dans un premier temps que cette méthode d'analyse sur un cycle de vie est un élément important pour estimer les moyens de lutter contre les séismes et évaluer les sommes à mettre en œuvre pour améliorer les réseaux.



Grigg N., **Water utility security : multiple hazards and multiple barriers**, Journal of infrastructure systems, juin 2003, Vol9, No2, pp 80-88.

Commentaires : ce texte est une bonne première approche du risque, il donne une vision globale des événements ayant causés le plus de dommages et recense les problèmes pouvant atteindre le réseau d'eau potable. Il n'aborde aucun point technique en particulier et concerne aussi bien les risques naturels que le terrorisme.

Cet article procure un rapport d'expérience sur les désastres liés à l'eau potable et offre un guide pour le management du risque. Les méthodes actuelles demandent de nombreuses données, pas toujours accessibles et des théories ont été développées mais demandent à être validées. Le réseau d'eau potable a certaines caractéristiques comparables à celles d'autres réseaux, comme le réseau électrique, le gaz...et l'expérience relative au réseau d'eau potable peut être utilisée pour ces autres réseaux. Les recherches relatives aux catastrophes naturelles sont relativement étoffées, notamment concernant les séismes et les inondations.

#### Management du risque :

L'expérience concernant le réseau d'eau potable montre que les méthodes basées sur le risque et les performances sont utiles pour planifier des systèmes plus résistants et fiables. Le management du risque peut être considéré comme : l'identification, l'analyse, la réduction et le traitement du risque (ces points sont développés dans le texte).

La fiabilité est fonction du risque car le risque est fort si il y a une forte probabilité de rupture, donc risque fort et faible fiabilité vont de paire.

Table 1. Natural Hazards and Consequences to Water Utilities

Hazard	Examples of consequences
Earthquake	Pipe breaks, loss of power, structure collapse
Flooding: river, flash, coastal, dam break	Loss of treatment plant, contamination of distribution system
Wind: hurricanes, tornados	Flood-induced problems, also structure damage, loss of power
Waterborne disease: <i>Cryptosporidium</i> , <i>Giardia</i> , <i>E. coli</i> , <i>Legionella</i>	Sickness, death, loss of public confidence
Drought and dust	Water shortages, water quality problems, financial problems
Severe weather: cold, heat, snow, ice, lightning	Frozen pipes, outages and leaks, high water use, stolen water, SCADA problems
Fire: forest, brush, firestorm	Dramatic increases in water demands
Mudflow, landslide, sedimentation	Loss of surface water facilities, washout of crossings
Volcano and ashfall	Loss of facilities to lava flow, contamination by ash

Table 3. Risk Categories to Utility Business Processes

Threat	Examples of consequences
Employee health and safety	Public image, human resource problems, impaired utility operation
Reputation and loss of public confidence	Political problems, impacts on organization and employees
Employee misconduct and grievances	Poor morale, impaired utility operation, negative press
Financial problems	Threats to solvency, higher rates, loss of public confidence, lack of funds
Property losses	Threats to financial base
General liability	Financial losses
Regulatory problems	Financial problems, negative press, loss of public confidence

#### **Figure 61 aléas et conséquences (Grigg, 2003)**

Les problèmes liés au réseau d'eau potable proviennent des risques naturels, humains ou des « business risks », liés à l'exploitation (assurance, financement...) ou à la consommation (santé publique...).

Lors d'une conférence en octobre 2001, les experts présents ont compilé les leçons de différents évènements et produit des recommandations pour que les gestionnaires de réseaux d'eau puissent préparer de futurs désastres.

Cependant les experts se sont plutôt penchés sur des aléas du type terrorisme chimique ou biochimique.

Des tableaux de synthèse présentant les derniers évènements sismiques et les inondations sont joints au dossier. Nous nous attacherons aux expériences de risques naturels et non aux risques humains ou de santé publique.

Les inondations sont les évènements causant le maximum de dommages et coûtant le plus cher aux Etats-Unis, mais les séismes sont les phénomènes touchant les plus grandes surfaces.

Les zones d'extension des inondations sont contrôlées, mais les infrastructures n'ont pas reçu de traitement particulier.

Tesina : Modelo para el estudio de la vulnerabilidad de los servicios técnicos urbanos frente a los riesgos naturales

**Table 4.** Recent Water Utility Earthquake Experiences and Information Sources

Earthquake	Experiences
Loma Prieta, Calif., October 17, 1989	Loma Prieta has been extensively reported. It caused 62 deaths and \$7.1 billion in damage. There were electric power interruptions and extensive water main damage. Key reports: Overall report (Earthquake Engineering Research Institute 1989); mutual aid and California's Water Agency Response Network (WARN) system (Riordan 1995); seismic improvement by EBMUD (Diemer 1998).
Northridge, Calif., January 17, 1994	More reports than Loma Prieta. Northridge caused 58 deaths and \$30 billion damage including aqueduct, tanks, and pipelines. Key studies: Structures, lifelines, and fire protection (Todd et al. 1994); lifelines and postearthquake response (Schiff 1995); MWD Emergency Operations Center and patrol success (Young and Means 1995); LADWP success in service restoration (McReynolds and Simmons 1995); communication (Tanaka 1995).
Kobe, Japan, January 17, 1995	Over 5,000 deaths, mostly in vulnerable wooden houses, and \$100 billion in damage with main breaks, damage to pumps and treatment plants. Key reports: Overall (Earthquake Engineering Research Institute 1995; Chung 1996); Northridge and Kobe comparisons (Ballantyne 1998).
Turkey, August 17, 1999, and Taiwan, September 21, 1999	Both sites near vulnerable areas, and lessons focus on building codes (Eidinger 2001). Turkey event killed at least 16,000 and was largest since 1939. Direct damage estimated at \$25–40 billion with great damage to building stock. Water systems performed fairly well. Pipes crossing faults were damaged. Taiwan event killed more than 2,300. Dam across a fault sustained serious damage, releasing 2.3 MM <sup>3</sup> of water.
Peru, 2001	Caused landslides and other damage and had serious impacts on local water systems (Eidinger 2001).
India, 2001	Caused many deaths and had severe impacts on local water systems (Eidinger 2001).
Northwest U.S., 2001	Damages small. Roads and buildings damaged, but Olympia's water supply had few problems. Power out for few hours, and high turbidity and cracks in small supply lines. Ground continued to settle and cracked small lines (DeCillo 2001).

**Figure 62:** retour sur expérience après séisme pour l'eau potable (Grigg, 2003)

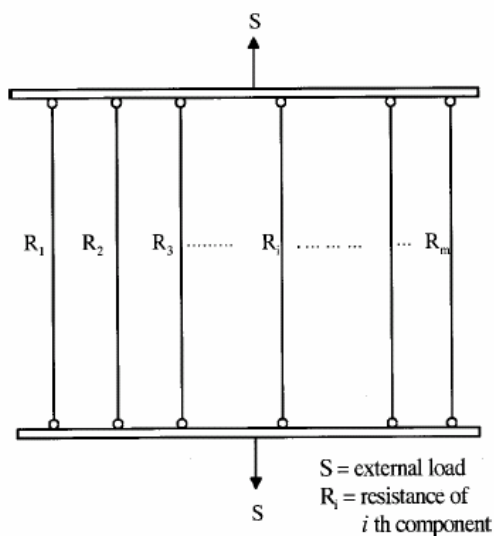
Hoshiya M., Yamamoto K., **Redundancy index of lifeline systems**, journal of engineering mechanics, Vol 128, No 9, september 2002, pp 961-968.

Au S.K., **Discussion of redundancy index of lifelines systems**, *Journal of engineering mechanics*, september 2003, pp 1104

Hoshiya M., Yamamoto K., **Closure to Redundancy index of lifelines systems**, *Journal of engineering mechanics*, september 2003, pp 1105

Commentaires: Ce texte a été remis en cause par Au en 2003. Un problème a été soulevé quant à la normalisation de  $R_E$  par l'utilisation d'un dénominateur. En effet si la probabilité de défaillance est nulle,  $R_E$  devient indéfini (voir : Discussion and Closure, by S.K.Au, Journal of Engineering Mechanics, september 2003, p 1105). Cette version de l'indice de redondance  $R_E$  date de 2002. Depuis, elle a été reprise afin de se baser non plus sur l'entropie des états de dommage, mais sur celle des états de fonctionnement voir Hoshiya M., Yamamoto K., Haruo O.<sup>17</sup> (2004). Nous ne présentons donc ici que les définitions des index déjà existants manquant dans le texte de 2004 ainsi que la première définition de  $R_E$  afin de pouvoir les comparer.

Cet article propose une comparaison entre les index de redondance  $R_E$  de Hoshiya et Yamamoto,  $R_Z$  de Ziha<sup>18</sup> et  $R_R$  de De et al<sup>19</sup>. Cette comparaison passe par deux exemples : un système sujet à « pullout loading » et un réseau d'eau potable soumis au mouvement de terrain du à un séisme.



Dans un système câblé de reprise de charge composé de  $m$  élément, la défaillance d'un des éléments n'engendre pas forcément la défaillance de l'ensemble du système. En effet les efforts repris par l'élément défaillant peuvent être répartis entre les éléments restants. Une multiplication des redistributions de force peut conduire à la ruine du système.

Figure 58 : système de câbles parallèles sujet à un chargement (« pullout loading ») (Hoshiya M., Yamamoto K.,2002).

<sup>17</sup> Hoshiya M., Yamamoto K., Haruo O., Redundancy index of lifelines for mitigation measures against seismic risk. *Probabilistic Engineering Mechanics*, 2004, vol.19, pages 205-206.

<sup>18</sup> Ziha, K., Entropy of a subsystem of events, *Proc., 20th Int. Conf. on Information Technology Interfaces ITI'98*, Pula, Croatia, 1998, pp 451-454.

Ziha, K., Usage of relative uncertainty measures, *Proc., 21 Int. Conf. on Information Technology Interfaces ITI'99*, Pula, Croatia, 1999, pp 269-274.

Ziha, K., Event oriented system analysis., *Probabilistic Engineering Mechanics*, Vol. 15, Chap. 3, Elsevier, England, 2000a, pp 261-275.

Ziha, K., Redundancy and robustness of systems of events, *Probabilistic engineering mechanics*, Vol. 15, Chap. 4, Elsevier, England, 2000b, pp 347-357.

<sup>19</sup> De R.S. et al, Study of redundancy in near-ideal parallel structural systems, *Proceeding of the fifth international conference on structural safety and reliability*, Notre Dame, Indiana (1999) p213-220.

Pour les réseaux, l'index de redondance est appliqué à chaque nœud de demande en multipliant les parcours depuis les nœuds d'offre.  
Afin de commenter l'utilité des indices, l'auteur commence par en rappeler les définitions.

Soit un système de  $m$  éléments  $D_i$ .  $U = \{D_0; D_1; D_2; \dots; D_{m-1}; D_F\} = O \cup NO = D \cup ND$

On définit à partir de  $U$  différents sous-ensembles :

$O$  est le sous-ensemble des modes opérationnels :  $O = \{D_0; D_1; D_2; \dots; D_{m-1}\}$

$NO$  est le sous-ensemble des modes non-opérationnels :  $NO = \{D_F\}$

$D$  est le sous-ensemble des modes de dommages (damage modes) :  $D = \{D_1; D_2; \dots; D_{m-1}; D_F\}$

$ND$  est le sous-ensemble de dommage nul :  $ND = \{D_0\}$

C'est-à-dire que  $ND = \{D_0\}$  représente un mode opérationnel sans aucun dommage. Alors que  $D_i$ , pour lequel  $i$  va de 1 à  $m-1$ , est un mode opérationnel avec des disfonctionnements de  $i$  éléments.

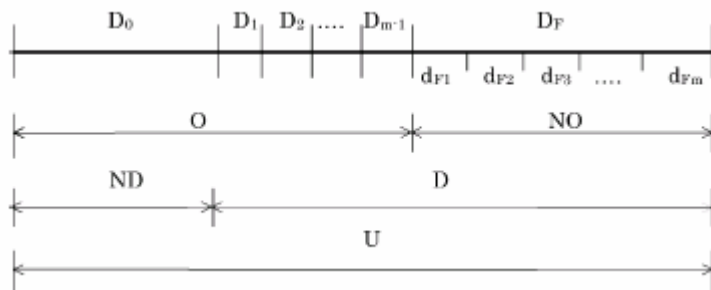


Figure 59 : Etat de dommage d'après Venn.

$D_F$  est un mode non opérationnel, tel que  $D_F = \{d_{F1}; d_{F2}; \dots; d_{F_{m-1}}; d_{Fm}\}$ , survenant suite à la défaillance de  $i$  éléments.

L'index de redondance  $R_E$  :

Il est défini par Hoshiya<sup>20</sup> (1999) et Hoshiya et Yamamoto<sup>21</sup> (2000) :

$$R_E = H_{D|D} / \log_2(m)$$

$$= \frac{\{-\sum_{i=1}^{m-1} P_{D_i|D} \log_2 P_{D_i|D} - P_{D_F|D} \log_2 P_{D_F|D}\}}{\log_2(m)}$$

$H_{D|D}$  est l'entropie d'un sous-ensemble de modes opérationnels conditionnés par un état opérationnel (" $H_{D|D}$ =entropy of a subset of damage modes conditioned on the damage state").  $P_{D_i|D}$  est la probabilité d'un événement  $D_i$  d'un état de dommage avec  $P_D$  la probabilité de l'état de dommage  $D$  (ensemble des dommages).  $R_E$  est compris entre 0 et 1.

$R_E$  peut être interprété comme une distance de réserve entre la première défaillance  $D_1$  et la défaillance totale du système. Donc si  $R_E$  est proche de 1, la redondance est plus forte, la distance plus grande.

<sup>20</sup> Hoshiya M, Reliability vs. Uncertainty in structural safety, Proceeding of the eighth international conference on application of probability and statistics, Sydney, Australia, 1999, pp1131-1134.

<sup>21</sup> Hoshiya M., Yamamoto K., Information entropy for redundancy of engineering systems, Proceeding of the international conference on Monte Carlo Simulation, Monte Carlo, 2000, pp273-278.

L'index  $R_Z$ :

Il est défini par Ziha comme une entropie et a été normé (deuxième équation) afin de pouvoir établir une comparaison.

$$\text{Redundancy} = H_{O|O} = - \sum_{i=0}^{m-1} P_{D_i|O} \log_2 P_{D_i|O}$$

$$R_Z = H_{O|O} / \log_2(m) = - \sum_{i=0}^{m-1} P_{D_i|O} \log_2 P_{D_i|O} / \log_2(m)$$

$H_{O|O}$  est l'entropie d'un sous-ensemble de modes opérationnels conditionnés par un état opérationnel. L'indice  $R_Z$  est une distance de réserve entre un système dont tous les éléments sont opérationnels et un système juste avant défaillance. De la même manière que  $R_E$ , si  $R_Z$  est proche de 1, la redondance est plus élevée.

L'indice  $R_R$ :

$R_R$  est la probabilité d'un événement  $D_F$  qui représente la défaillance du système, conditionné par une défaillance ou un endommagement.

$$R_R = \frac{P(\text{system failure})}{P(\text{any first component failure/damage})} = P_{D_F|D} \quad (12)$$

Afin de pouvoir comparer les trois indices, on posera  $R=1-R_R$ .

Hoshiya M., Yamamoto K., Haruo O., **Redundancy index of lifelines for mitigation measures against seismic risk.** *Probabilistic Engineering Mechanics*, 2004, vol.19, pages 205-206.

Commentaires: Texte très intéressant sur une méthode d'évaluation des risques. Par comparaison entre différentes solutions techniques (tracés, matériaux...) on peut également utiliser cet outil pour estimer l'impact de travaux de doublage d'une infrastructure (exemple de l'eau potable à Kobe.). A priori, cette méthode peut être utilisée pour tous les réseaux urbains.

A partir de données du retour d'expérience et d'une distribution de Poisson le long du réseau, on estime la probabilité de casse de chaque élément. On peut alors calculer l'index de redondance initial de chaque nœud qui donne un niveau de redondance entre 0 et 1 en fonction de la redondance des autres nœuds. On peut donc ensuite calculer le niveau de redondance pour un autre état du système et établir des comparaisons.

Depuis le séisme de Hyogoto-Nanbu en 1995, il est devenu clair que le bâti n'est pas la seule forme de la vulnérabilité d'une ville, mais que les infrastructures en composent une large part. En effet, les infrastructures sont formées par de nombreux composants et la défaillance ou la destruction de l'un d'entre eux n'engendre pas automatiquement de défaillance généralisée du système. L'étude de la reliability (fiabilité) et la redundancy (redondance) des infrastructures peuvent être un moyen de mitiger le risque.

En 1989, De et al.<sup>22</sup> introduisent l'index de redondance RR qui définit la probabilité de ruine générale du système à partir de la défaillance du premier élément.

Hoshiya M, Yamamoto K<sup>23</sup> ont défini un nouvel index, RE qui est l'entropie d'un événement dommageable conditionnant un dommage au système. Cet index prend les valeurs de zéro à un, avec 0= aucune redondance et 1= redondance maximum. Cet index peut être utilisé pour une meilleure compréhension de l'état de fiabilité et redondance d'un système.

#### L'index $R_E$ :

Soit un système de m éléments  $D_i$ .  $U = \{D_0; D_1; D_2; \dots; D_{m-1}; D_m\} = O \cup NO = D \cup ND$

On définit à partir de U différents sous-ensembles :

O est le sous-ensemble des modes opérationnels :  $O = \{D_0; D_1; D_2; \dots; D_{m-1}\}$

NO est le sous-ensemble des modes non-opérationnels :  $NO = \{D_m\}$

D est le sous-ensemble des modes de dommages (damage modes) :  $D = \{D_1; D_2; \dots; D_{m-1}; D_m\}$

ND est le sous-ensemble de dommage nul :  $ND = \{D_0\}$

---

<sup>22</sup> De R.S. et al, Study of redundancy in near-ideal parallel structural systems, Proceeding of the fifth international conference on structural safety and reliability, Notre Dame, Indiana (1999) p213-220.

<sup>23</sup> Hoshiya M, Reliability vs. Uncertainty in structural safety, Proceeding of the eighth international conference on application of probability and statistics, Sydney, Australia, 1999, p1131-1134.

Hoshiya M., Yamamoto K., Information entropy for redundancy of engineering systems, Proceeding of the international conference on Monte Carlo Simulation, Monte Carlo, 2000, p273-278.

Yamamoto K., Ohno H., Hoshiya M., Redundancy and reliability of engineering systems with information entropy, Proceeding of the ICOSSAR'01 (CD ROM), Los Angeles, California, 2001.

Yamamoto K., Hoshiya M., Redundancy index of lifeline systems, J Engng Mech, ASCE 128 9, 2002, p 961-968. (voir fiche de résumé correspondante)

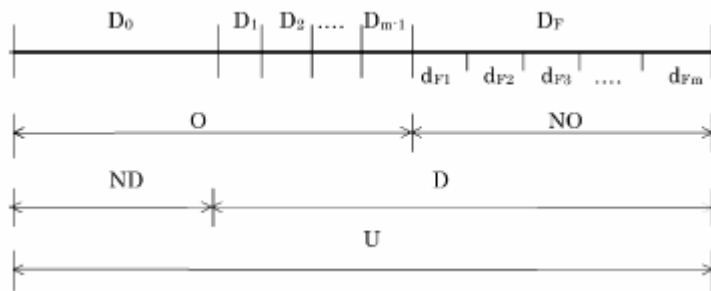


Figure 60 : Etat de dommage d'après Venn.

C'est-à-dire que ND = {D0} représente un mode opérationnel sans aucun dommage. Alors que Di, pour lequel i va de 1 à m-1, est un mode opérationnel avec des disfonctionnements de i éléments.

DF est un mode non opérationnel, tel que DF = {dF1; dF2;...; dFm-1; dFm}, survenant suite à la défaillance de i éléments.

$$R_E = H_{D|D} / \log_2(m)$$

$$= \frac{\left\{ - \sum_{i=1}^{m-1} P_{D_i|D} \log_2 P_{D_i|D} - P_{D_F|D} \log_2 P_{D_F|D} \right\}}{\log_2(m)}$$

$$P_{D_i|D} = \frac{P(D_i)}{P_D}$$

$$P_{D_F|D} = \frac{P(D_F)}{P_D}$$

Figure 61 : Définition de RE , PDi/D et PDi/D

$H_{D|D}$  est l'entropie d'un sous-ensemble de modes opérationnels conditionnés par un état opérationnel (" $H_{D|D}$ =entropy of a subset of operational modes conditioned on operational state").  $P_{D_i|D}$  est la probabilité d'un évènement Di d'un état de dommage avec  $P_D$  la probabilité de l'état de dommage D (ensemble des dommages).

$R_E$  se déplace de 0 à 1 lorsque l'on se rapproche d'un état de redondance intéressant du système. Pour un système, l'index de redondance est calculé en chaque nœud de demande.

Un index général pour le système peut également être calculé :

$$R_{ES} = \frac{1}{\sum_j w_j} \sum_j w_j R_{Ej}$$

Figure 62 : index pour l'ensemble du système.

W représente le poids au nœud de demande j et est proportionnel à la consommation du nœud.

### Etude de cas : une conduite d'eau potable à Kobe.

Il s'agit d'utiliser les index de redondance pour estimer la qualité du système d'alimentation en eau potable à Kobe. Une nouvelle conduite est en cours de construction, pouvant transférer l'eau à travers l'ensemble de la ville, mais également fournir l'eau au réseau à partir des nœuds principaux. Le réseau d'eau potable de Kobe est alimenté par 120 réservoir et fonctionne de manière gravitaire. Pour le calcul de la redondance du système, on a considéré 6 quartiers de la ville supposés être alimentés chacun par un réservoir source et être indépendants. Les résultats pour l'un de ces secteurs est présenté dans cette étude.

Le nouveau réseau de ce secteur prévoit en deux points une nouvelle source d'alimentation en eau. L'une des sources alimente uniquement un point de demande



alors que l'autre arrive en amont, pour relayer la source actuelle de trois canalisations principales. Comme les nouvelles canalisations sont construites selon des méthodes para-sismiques, elles seront réputées avoir une probabilité de casse nulle.

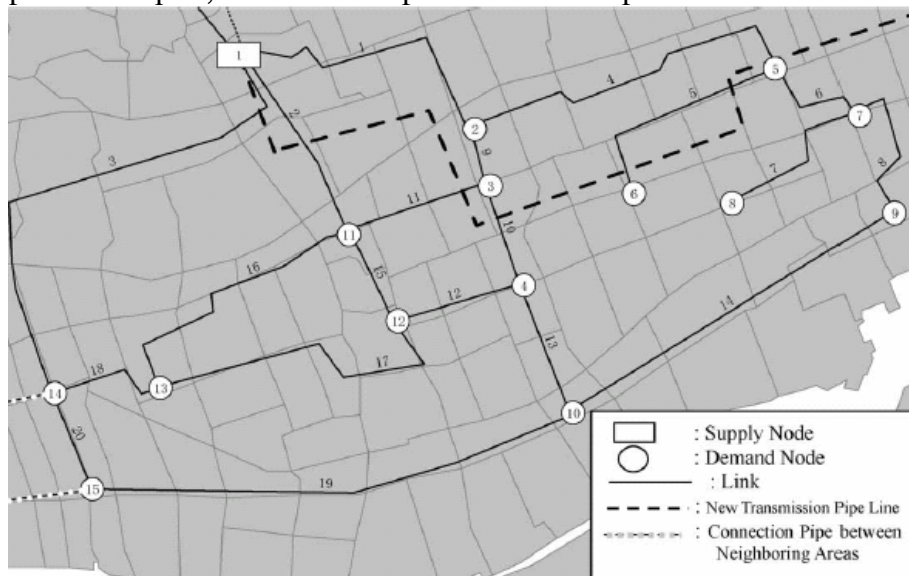


Figure 63 : plan du réseau d'eau potable pour une zone de Kobe.

Pour un séisme équivalent à celui de 1995 et grâce au retour sur expérience, on calcul la probabilité de casse de chacune des canalisations actuelles. On suppose également un sens de circulation de l'eau dans les canalisations qui restera inchangé en cas de séisme.

Les résultats donnent une redondance globale supérieure, donc une meilleure protection de l'alimentation en eau. Certains nœuds, ceux avaient un index de redondance très faible auparavant, remonte nettement grâce à ce système de secours. Par contre, certains index connaissent une très faible progression ou même un faible recul. Ceci n'indique pas une moindre protection, car  $R_e$  étant un index basé sur une entropie, il indique une valeur relative de redondance de chaque nœud en fonction de tous les autres nœuds du réseau. Ces points de consommation sont même plus sûrs qu'avant si l'on considère la prévision des pertes (losses) établie :

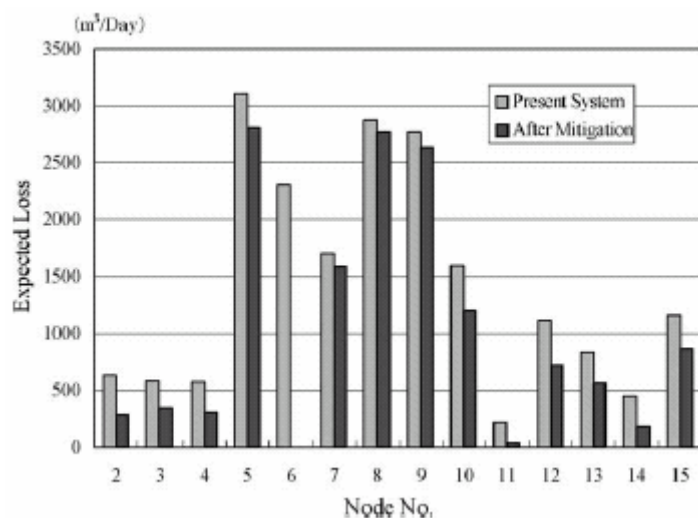


Figure 64 : pertes en chaque nœud de la zone de consommation A.

Ainsi, le réseau est clairement plus sûr.

Yao B., Xie L., Huo EJ., **A comprehensive study method for lifeline system interaction under seismic conditions**, *Acta seismologica sinica*, Vol 17, No 2, mars 2004, pp 211-221

Commentaires: ce texte présente d'une part une classification des types d'interactions entre réseaux, d'autre part une méthode de caractérisation du risque d'interaction du au dysfonctionnement d'un réseau. Si la méthode est peu développée, les applications en SIG pour les collectivités et concessionnaires des réseaux semblent intéressantes. Les références citées peuvent être également exploitées, malheureusement beaucoup sont en chinois ou japonais.

Les interactions entre réseaux présentées ici sont les effets mutuels de deux réseaux situés dans le même secteur sous des conditions sismiques. En d'autres mots, la fiabilité d'un réseau dépend, en plus de sa propre résistance face aux séismes, de la fiabilité d'autres réseaux ayant, avec celui-ci, des connexions fonctionnelles ou une proximité physique. Ces interactions vont directement jouer sur les dommages, la stratégie de renforcement aux séismes, les standards de résistance, les opérations d'urgence...

Bien que les réseaux soient particulièrement étudiés pour les milieux urbains depuis le séisme de San Fernando de 1971, leurs interactions le sont encore très peu.

Les interactions apparaissent particulièrement lors de séisme de forte amplitude en zone urbaine, tels que les séismes de Kobe, Loma Pietra... Les phénomènes relevant de ces interactions ont été classés par Kameda et Nojima<sup>24</sup> (1992) dans le tableau présenté page suivante. Les éléments en colonne agissent sur les éléments de la ligne. Il en ressort que le dysfonctionnement de l'électricité et des télécommunications affecte particulièrement l'ensemble des réseaux. La destruction des transports pénalise la remise en route des réseaux, alors que pendant la remise en route des réseaux, ce sont les transports qui sont pénalisés.

Les interactions entre réseaux sont très compliquées. Afin de faciliter leur analyse, nous les classons en 6 catégories, de A à F, avec l'aide des classifications déjà existantes (Nojima et Kameda (1992) et Charles et Scawthorn<sup>25</sup>, (1993)).

"Type A, function interaction defined as functional disaster propagation due to failure of interdependence among lifeline systems.

Type B, collocation interaction defined as physical disaster propagation among lifeline systems." (par exemple la casse d'une conduite d'eau va engendrer la dégradation des fibres optiques situées à proximité).

"Type C, substitute interaction defined as influences on alternative systems. For example, failure of the gas supply system will result in the excessive requirement for the power supply system.

---

<sup>24</sup> Kameda H, Nojima N. Developments of lifeline earthquake engineering [A]. In: Kameda H ed. *Proc of Workshop on China-Japan Joint Research for Earthquake Disaster Prediction and Mitigation* [C], 1992, pp 170-186.

<sup>25</sup> Charles S, Scawthorn S E. Lifeline interaction and post-earthquake functionality: Case study for fire following earthquake [A]. In: Kawashima K, Sugita H eds. *Proc of 5th US-Japan Workshop on Earthquake Disaster Prevention for Lifeline System* [C]. 1993, pp 441-450.

Type D, restoration interaction defined as various types of hindrance in restoration stage.

Type E, cascade interaction defined as increasing impacts on a lifeline due to initial inadequacies. An example is increasing degradation of water service in a conflagration due to service connections breaking as structures collapse as the conflagration grows. That is, as the conflagration increases in size, more and more structures burn and collapse, resulting in more and more broken services, resulting in greater and greater pressure loss in the water service, future impairing water supply and leading to further growth in the conflagration.

Type F, general interaction. There are the interaction phenomena between the internal components of a lifeline system such as connected electrical substation equipments.”

	Electric power supply	Gas supply	Water supply	Transportation	Communication
Electric power supply	*	○ Malfunction of plants, gas holders, pressure devices; ○ Malfunction of centralized control system; ○ No illumination	○ Malfunction of filtration plants & pumping engines; ○ Malfunction of centralized control system; ○ No illumination	○ Traffic signal disorder; ○ Malfunction of electric car & urban railways; ○ Malfunction of centralized control system; ○ No illumination	○ Malfunction of tel. offices; ○ Malfunction of centralized control system; ○ No illumination; ○ Malfunction of online service; ○ Loss of data
Gas supply	□ Excessive use as alternatives, e.g. Hot supply	*	△ Recovery work complications; △ Scramble for machinery	○ No passing owing to repair work	
Water Supply	○ Lack of coolant for independent power plants; ● Inundation of underground pipes and cables	△ Recovery work complications; △ Scramble for machinery; ○ Lack of coolant; ○ Lack of coolant for independent power plants	*	○ No passing owing to repair work; ○ Lack of coolant for independent power plants; ● Flooding	○ Lack of coolant for switchboard; ● Inundation of underground cables; ● No insulation; ○ Lack of coolant for independent power plants
Transportation	△ Battery cars unavailable; △ Delay in recovery work; ○ No commuting; ○ No transportation of materials and fuel	△ Delay in recovery work; ○ No commuting; ○ No transportation of materials and fuel	△ Water wagons unavailable; △ Delay in recovery work; ○ No commuting; ○ No transportation of materials and fuel	*	□ Telephone excessive use
Communication	○ Malfunction of centralized control system; △ No communication for recovery work	○ Malfunction of centralized control system; △ No communication for recovery work	○ Malfunction of centralized control system; △ No communication for recovery work	○ No passing owing to repair work; ○ Malfunction of centralized control system; △ No communication for recovery work	*

Note: ○ stands for functional disaster propagation due to inter-dependence; △ for recovery hindrance; ● for physical disaster propagation; □ for influences on alternative systems; \* for same system

Figure 65 : caractéristiques des interactions entre réseaux, Yao B., Xie L., Huo EJ. (2004).

En se basant sur le modèle de probabilité des risques sismiques pour réseaux, on peut quantifier le l'interaction du système par un facteur unique. En considérant deux réseaux, si le réseau 1 fait défaut entre le nœud de demande et le nœud N (évènement E1) ou si le système 2 échoue au nœud N (évènement E2), alors le fonctionnement du nœud N n'est pas satisfaisant (évènement En). La probabilité d'un tel évènement peut s'exprimer par :  $P(EN) = P(E1) + [1-P(E1)] \times P(E2) \times a_{2N}$ , où le facteur d'impact  $a_{2N}$  reflète les spécificités du système (fiabilité, niveau de dépendance...). Ce facteur est calculé par la méthode de l'arbre de défaillance.

Une nouvelle méthode est introduite ici, basée sur des méthodes existantes, permettant de décrire la fonction d'interaction des réseaux. Cette méthode est menée selon le schéma suivant :

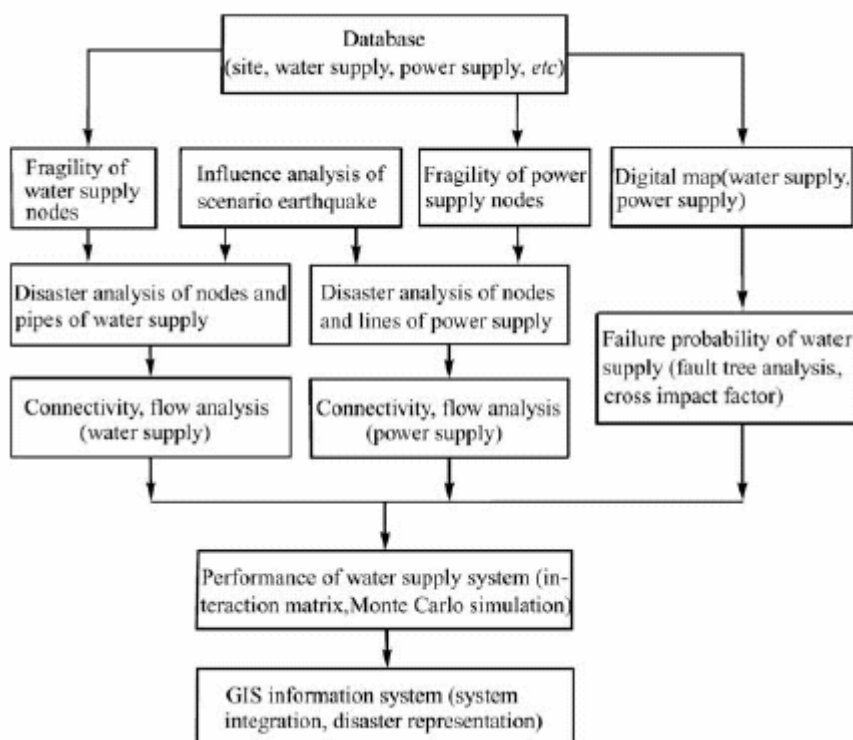


Figure 66 : diagramme du cadre d'analyse de la fonction d'interaction, Yao B., Xie L., Huo EJ. (2004).

La simulation de Monte Carlo permet d'analyser les interactions entre réseau d'eau potable et réseau électrique en considérant l'état (marche/arrêt) des stations de pompage selon leur localisation géographique.

L'eau potable et le réseau électrique sont utilisés comme exemple.

L'ensemble des résultats peut être intégré dans un système SIG.

Cette recherche concerne donc les interactions de type A. Les autres interactions sont évoquées et l'auteur renvoie aux travaux d'autres chercheurs sans développer le sujet.

L'auteur développe ensuite l'utilité du développement du SIG pour la gestion des infrastructures : en intégrant sur une même carte l'ensemble des réseaux, il devient possible de prévoir certaines interactions et de réaliser au mieux la restauration de ces réseaux, l'un après l'autre, en fonction des différentes interactions possibles. Ainsi le SIG pourrait devenir un système d'aide à la décision en temps réel en développant les outils d'analyse d'interaction. Il est par contre très difficile d'obtenir pour une même région l'ensemble des données sur les réseaux et cela est presque impossible de les obtenir en temps réel.

Jacobson A., **A methodology to assess seismic performance of water supply systems**, In: Student research accomplishments 2003-2004, edited by Bonneau A., 2004, disponible sur:< <http://mceer.buffalo.edu/publications/resaccom/04-sp06/>>.

Commentaires: Ce texte est issu d'un recueil de documents de recherche élaborés par des étudiants en thèse. En plus de ce texte, une feuille de résumé a été réalisée, elle est jointe à la fin de ce résumé. Ce texte propose un modèle d'estimation de la performance d'un réseau d'eau potable sous conditions sismiques. Les idées, propos et données sont très bien organisés, ce qui facilite la compréhension de ce texte. En outre, les propos techniques sont particulièrement intéressants puisqu'ils sont adaptables à n'importe quel site. La méthodologie nécessite une magnitude de séisme, la localisation de l'épicentre, une connaissance géologique du sol, des renseignements sur la fragilité des composants (une méthode pour l'estimer est également présentée) et les états limites du système.

L'auteur propose une nouvelle méthodologie incluant un nouveau model d'activité sismique.

#### Modèle sismique :

Un modèle probabiliste, illustré sur la figure suivante, génère un échantillon aléatoire d'évènements sismiques sur un site, pendant une période  $\tau$  équivalente à la durée de vie du système. Les données d'entrée du modèle sont donc la période  $\tau$ , la matrice d'activité sismique  $V_{ij}$  et les propriétés du sol du site.

Chaque échantillon généré par le modèle donne le nombre et la distribution temporelle des activités sismiques, ainsi que leur magnitude  $m_w$  et leur éloignement  $r$ .

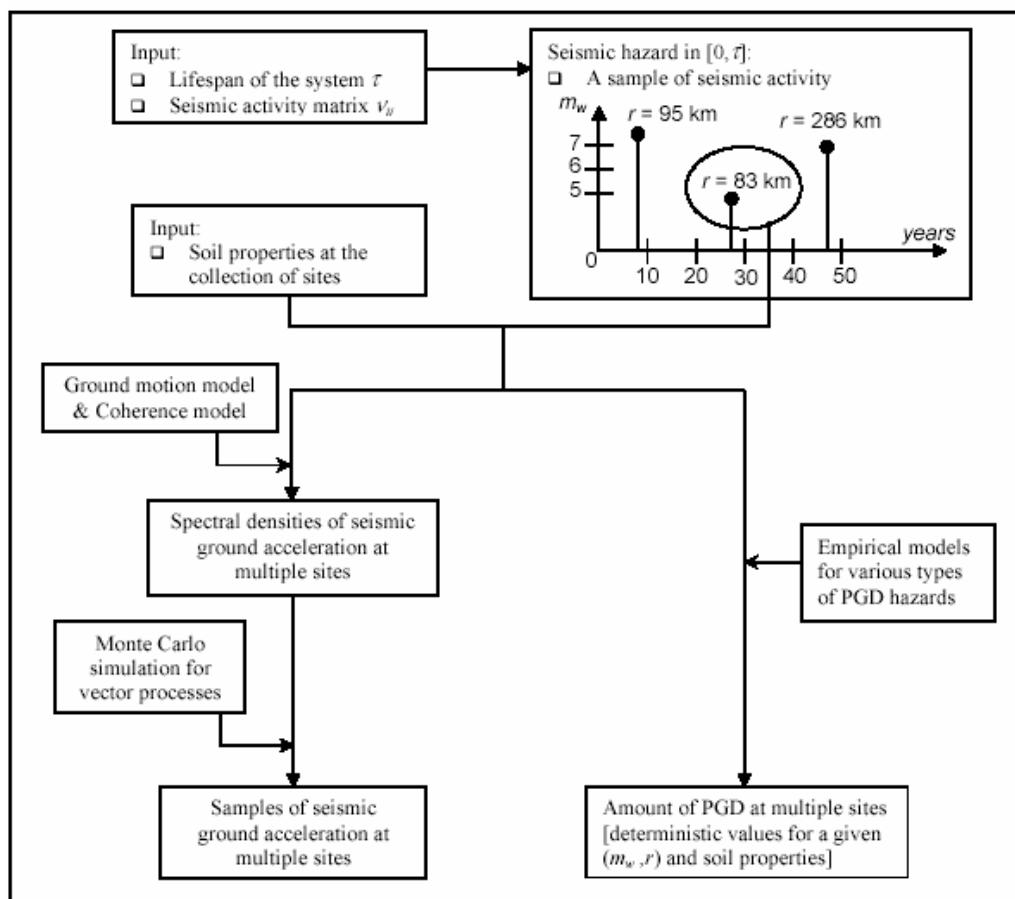


Figure 67 : modèle d'activité sismique (Jacobson, 2004). PDG= permanent Ground Displacement.

Pour chaque évènement sismique, on obtient par un modèle stochastique une distribution de l'accélération générée. Il est également possible de déterminer les " PDG " (Permanent Ground Displacement), tel que mouvement de terrain, liquéfaction...

Fragilité des composants :

La fragilité est définie comme la probabilité de casse ou de dommage d'un système ou d'un élément du dit système en fonction de paramètres sismiques. Cette probabilité peut être fonction de l'intensité des mouvements du sol ou de la magnitude et de la distance à l'épicentre.

La fragilité est obtenue grâce à des données historiques ou au modèle de Monte Carlo si celles-ci ne sont pas disponibles. Un exemple est donné pour une conduite d'eau.

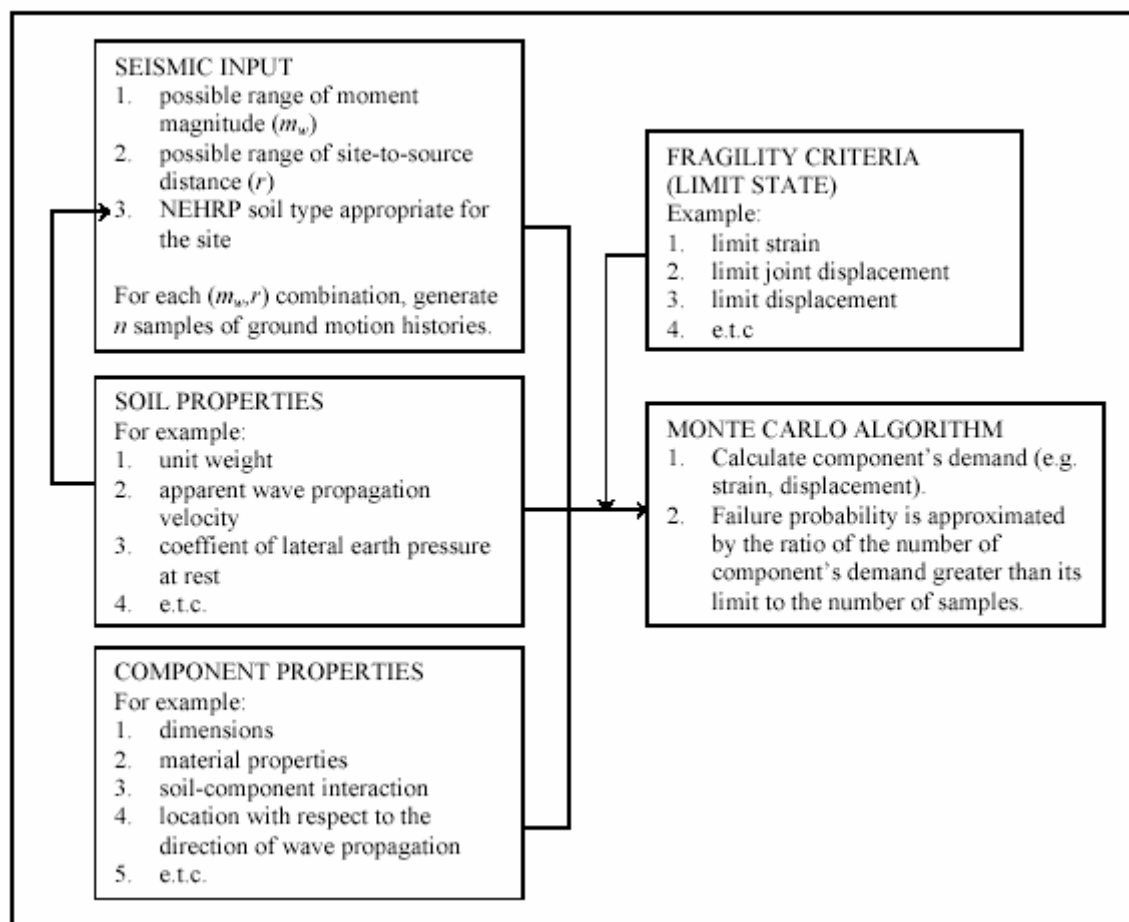


Figure 68 : méthodologie générale pour obtenir la fragilité d'un réseau. (Jacobson, 2004)

#### Fragilité du réseau d'eau potable :

La méthodologie pour mesurer la performance d'un réseau d'eau en cas de séisme nécessite les données suivantes :

- une magnitude de séisme, la localisation de l'épicentre,
- une connaissance géologique du sol,
- des renseignements sur la fragilité des composants et les états limites du système.

La première étape consiste à appliquer un séisme sur le réseau, afin d'obtenir en chaque point l'intensité du mouvement. On peut alors déterminer l'état de dommages de chacun des composants (grâce à la fragilité de ceux-ci).

La deuxième étape consiste à utiliser un modèle hydraulique pour déterminer le débit et la pression aux nœuds critiques. On compare ensuite ces valeurs avec les valeurs minimum nécessaires au bon fonctionnement.

La dernière étape consiste à déterminer la ratio des sous-systèmes défailants sur le nombre total de sous-système. Ensuite, on répète la procédure pour d'autres événements pour obtenir une courbe de fragilité.



# A Methodology to Assess Seismic Performance of Water Supply Systems

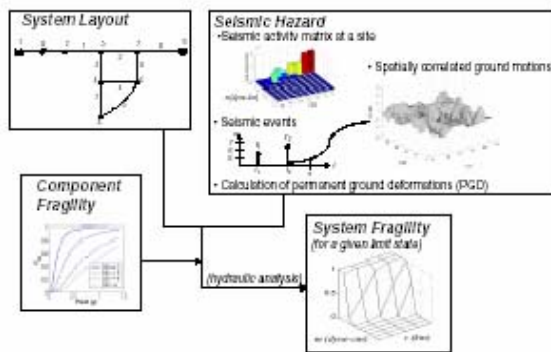


Anita Jacobson

Cornell University

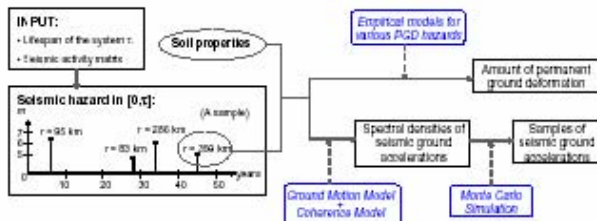
## ABSTRACT

A methodology to assess seismic performance of water supply systems has been developed. The necessary inputs include: system layout, seismic hazard at the site (or collection of sites), information on components fragility, and system limit states. The analysis consists of combination of Monte Carlo simulation and hydraulic analysis to first generate samples of seismic events (including samples of spatially correlated seismic ground motion and calculation of permanent ground deformation), produce samples of damaged systems, and finally estimate the failure probability of water supply systems for a given limit state.

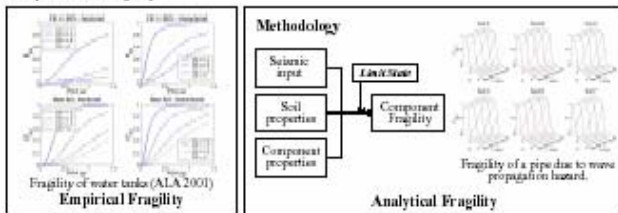


## BACKGROUND

### Seismic Hazard Model for a Collection of Sites



### Components Fragility

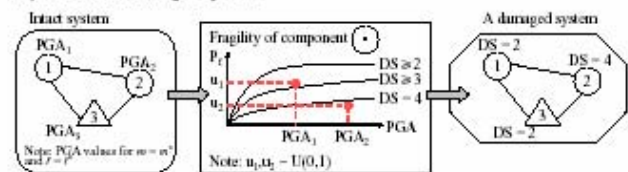


## OBJECTIVES

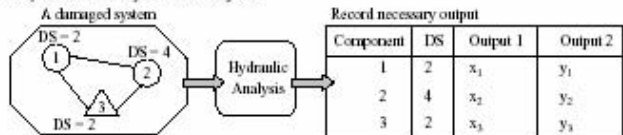
The objective of this research is to produce a methodology to estimate the failure probability of water supply systems. A mathematical model is developed to obtain scenarios of seismic occurrences at a collection of sites, which produces samples of spatially correlated ground motion and at the same time calculates the amount of permanent ground deformations. Combining these results with the information on components fragilities, failure probability of water supply systems for a given limit state will be estimated following a Monte Carlo procedure and simultaneously running a hydraulic analysis.

## METHODS

### Step 1: Generate damaged systems

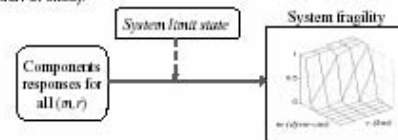


### Step 2: Perform hydraulic analysis



### Step 3: Develop system fragilities

Based on the imposed system limit state (e.g. minimum amount of pressure and/or flow must be delivered at critical nodes and/or pipes for a system to be functional), failure probability of the system can be estimated by repeating step 1 and 2 for a range of possible seismic event scenarios (i.e. a range of possible seismic moment magnitude  $m$  and site-to-source distances  $r$  at the collection of sites).



## RESULTS

The algorithm described above can be expressed in a compact form using the following pseudo code:

```

• for  $m = m_{min} : m_{max}$  and  $r = r_{min} : r_{max}$ 
• generate  $n$  samples of damaged system
• for  $j = 1:n$ 
• run hydraulic analysis and record necessary output
• if performance of damaged system  $j$  does not satisfy imposed system limit state
•  $n_{fail} = n_{fail} + 1$ 
• failure probability:  $P_j = n_{fail} / n$ 
    
```

## CONCLUSIONS

A methodology to assess the seismic performance of water supply systems has been developed. This method consists of three steps: (1) generate samples of damaged system, (2) perform hydraulic analysis on damaged systems, and (3) develop system fragilities based on the specified system limit state.

## ACKNOWLEDGEMENTS

Program area: Thrust Area 1 - Seismic Evaluation and Retrofit of Lifeline Systems  
Principal Investigator and/or faculty advisor: Dr. Mitros Gligorou  
Acknowledgements: MCEER grant E65-8594/8595

Figure 69 : fiche de résumé d'Anita Jacobson.



Baddiley P., **The flood risk in Cairns**, *Natural Hazards*, 2003, Vol30, pp 155-164

**Commentaires** : Cet article traite le cas de la ville de Cairns, ville australienne située dans une zone tropicale qui est soumise à des continues inondations. L'auteur décrit dans une première partie les possibles causes du risque et les méthodes utilisées pour son analyse et évaluation (Marlone,99). Dans la dernière partie de l'article il rentre dans le volet gestion d'une manière assez sommaire, remarquant les possibles interactions entre tous les réseaux urbains lors d'une inondation. Dirigé aux gestionnaires des réseaux : communautés urbaines ou conseils généraux.

This paper treats the problem of flood risk in Cairns, a tropical region on the north coast of Queensland, Australia. This region can experience very intense rainfalls at times in the summer and autumn months. There are typically associated with cyclones or other tropical weather systems.

The article makes a review of the flood history of Cairns highlighting that the most of the flood events are caused by cyclones and flood in the close Barron River. This one presents a high hazard because of a combination of characteristics including:

- Fast rain-to-flood response time
- High flood wave speed in the steeply sloping river channel
- Localised high water velocities on the floodplain
- High local inflows due to high intensity rainfalls and steep terrains
- Short warning lead times for emergency responses
- The risk, in larger floods, of breakouts, distributaries channels changes and realignments in the delta of the river.

The author explains different measures proposed by the Cairns Council in order to reduce the flood risk. A flood warning system, based on radio-telemetry, has been set which provides "live" data to a computer-based flood forecasting model (Marlone, 99). The system consists of a network of automatic stations that are used to monitor rainfalls and river heights. Although warning of potential heavy rainfall and flood events in the river, these measures are able to be provided at least one to two days ahead of the floods impacts, specific forecast of expected river heights are generally limited to less than a 9 hours lead time.

The city council has also adopted a 1% annual exceedence probability event (more commonly referred as the 1in 100 year flood) as the designated flood event for new developments. These expectations exclude the impact of an intense rainfall episode causing drainage surcharge and flooding in the Cairns urban area.

Concerning the risk management the council has decide that during periods of several flooding along the region, all major road and rail link are severed, and the airport is closed at time, in order to reduce damages. Loss of power over wide-spread areas is also common, as rare interruption to communications and urban water supplies.

The event with a return between 100 and 1000 years are considered with a relatively chance to occur over the next 50 years. For the case of those with a return period over 1000 years the chance of it occurring is higher than those of a return period between 100 and 1000 years for the next 50 years.

Rainfall intensities of this magnitude and the resulting flash floods in urban areas cause extensive damage to building and infrastructures, and pose a significant risk to life. For flow areas, flat areas, like that of the Cairns metropolitan area which is only one to two meters above high tide, the urban drainage flood risk is exacerbated by coincident high tides or elevated sea levels from wind set up or storm surge associated with cyclones.

To conclude the article assess that it is difficult to provide adequate warning of an intense rainfall-flash flood event over an urban district and the impact is difficult to mitigate. Despite the use of good flood-plain management practices in recent decades, flooding is still a high risk hazard.

Grünthal G. et al., **Comparative risk assessment for the city of Cologne- Storms, Floods, Earthquakes**, *Natural Hazards*, 2006, Vol38, pp 21-44.

**Commentaires** : Cet article présente une méthode multicritère des risques fait pour la ville de Cologne, Allemagne. Il se centre sur l'évaluation des risques produits par les forts vents, les inondations et les séismes. Cette méthode est très complète et bien développée, et elle fait appel à des formules statistiques ou des distributions comme (Gumble type I, Pearson type III, Weibull et Lognormal). Est un méthode basée sur des données de événements précédents et sur l'avis des experts, et qui donne comme résultat des cartes graphiques de risque ou de courbes de probabilité de risque. Est une méthode est dirigée vers les techniciens chargées de prendre des décisions (communautés publiques, les assurances, les urbanistes,...).

A multi-risk assessment of an urban area, Cologne in Germany, is introduced in this article. The natural hazards considered for this study are: windstorms, flooding and earthquake.

A coherent study is done for all these three hazards. At first, for each peril hazard assessment will be done, secondly a vulnerability assessment and an estimation of losses will be proposed by the authors. Finally a synthesis linking the loss estimates of the different hazard types will be performed.

For the hazard assessment different perils will be compared by a curve showing the exceedence probabilities of estimated losses. In this case study due to the lower return periods the risk is dominated by floods. For long return periods the highest damage is caused by earthquakes.

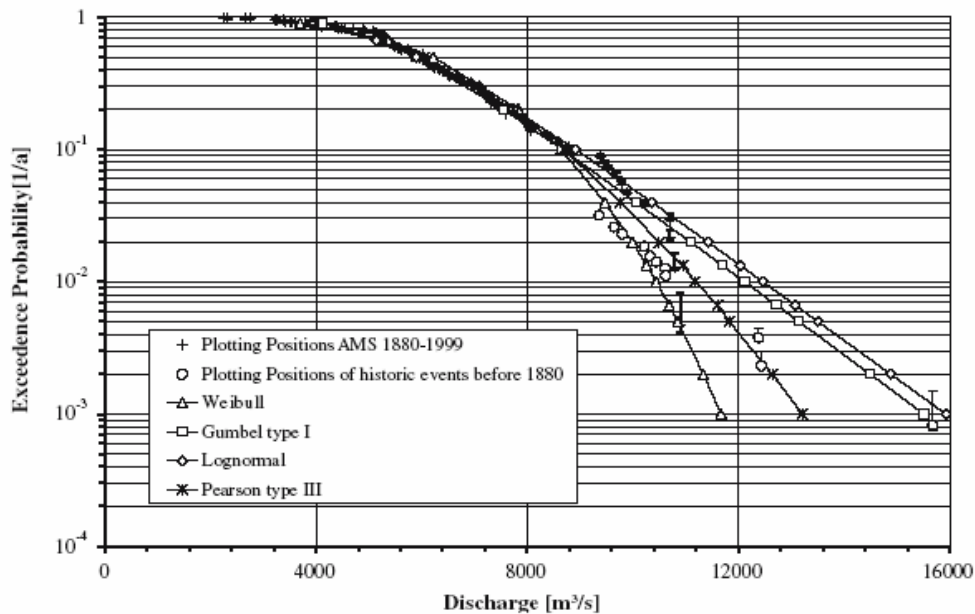
This assessment is based on the coarse indices inspired on readily available data and expert knowledge about hazards and their possible effects. This assessment yields a ranking on the different risks in a community and provides guidance to both mitigation and preparedness priorities.

For providing the multi-hazard analysis, windstorms, floods and earthquakes have been chosen as main natural triggers. Windstorms will not be treated in this abstract as there are not interesting for our study. Floods are well known publicly and earthquakes study can be interesting as the total earthquake losses can be considerable.

For each of the three considered perils a hazard assessment was performed focusing on the estimation of the exceeded probabilities of the potentially damaging events and effects. At this stage, different hazard types are not comparable with each other since hazards due to three different hazards are expressed by different strength parameters: wind speed, discharge or inundation depth...

The estimation of the **flood hazard** is based on a flood frequency analysis of the discharge data at a gauge put on the river close to the studied area. At this gauge a discharge series with reliable daily data is available. For each hydrological year the maximum discharge was determined. These data will be adapted to a different distribution functions (Gumble type I, Pearson type III, Weibull and Lognormal),

having as result a curve showing the exceeded probability for each maximum year discharge.



**Figure 70: Distribution function showing exceedence probability in term of gauge discharge (Grünthal G. et al., 2006)**

The four distribution functions have been then weighted by the Maximum Likelihood method (MLM) to construct a composite probability function (Wood and Rodríguez-Iturbe, 1975). The Pearson type III seems to be the best option for this series since it is almost identical with the composite distribution.

In general, the uncertainty of flood frequency analysis is enormous because sample sizes are limited. To overcome this problem many countries published guidelines and recommended certain distributions. (Pearson type III is frequently used in the USA).

For the estimation of flood losses certain discharges have to be converted into water levels and inundation areas. The transformation of discharges into water levels was perfumed by the rating curve of the Cologne gauge.

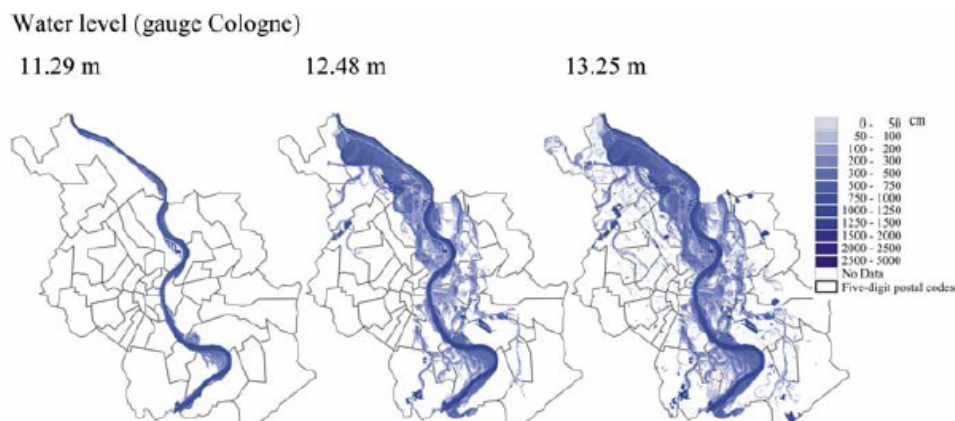


Figure 3. Selected inundation scenarios for Cologne. According to the current rating curve the water levels of 11.30 m, 12.50 m and 13.25 m correspond to a discharge of 12,018 m<sup>3</sup>/s, 14,247 m<sup>3</sup>/s and 15,677 m<sup>3</sup>/s, respectively.

Figure 71: Selected inundation scenarios for Cologne (Grünthal G. et al., 2006)

**Seismic hazard** assessment is performed by an intensity-based risk assessment. A harmonized earthquake catalogue covering the entire area was used in this purpose. The catalogue data contain more than 900 earthquakes in the entire considered zone. About 400 were used to derive the frequency-magnitude parameters for the source zone. All the other input parameters were also treated, with their uncertainties, with the logic tree technique. Seismic hazard assessments in terms of intensity were made for the soil conditions of the localities where intensity data points were collected in the past.

Intensity-related hazard curve for the centre of the city are given in the following figure. The mean hazard curve, representing the best estimate, is used here for the further procedure regarding loss estimation. Corresponding seismic hazard maps for different hazard levels will be the basis for the losses estimation.

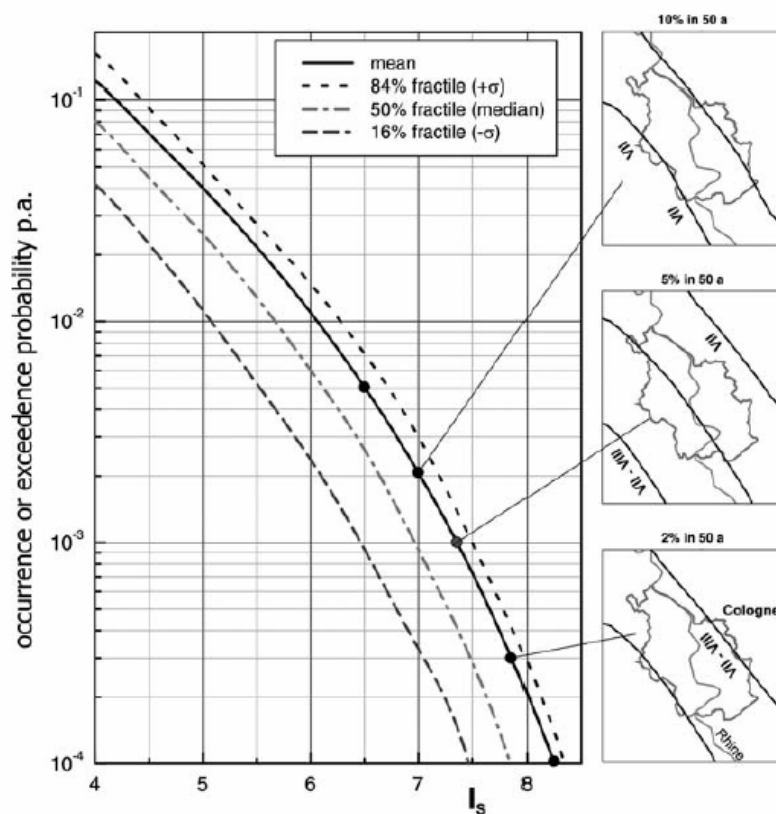


Figure 4. Probabilistic seismic hazard curves for the centre of Cologne in terms of intensities and their fractiles. Basis for the risk assessments are here generally the mean hazard values. Corresponding intensity hazard maps for the city of Cologne are shown as inlay maps for different probability levels.

Figure 72: Probabilistic hazard curves for the centre of Cologne (Grünthal G. et al., 2006)

In order to estimate the direct losses it is necessary to develop an inventory of potentially exposed assets in the area under consideration. For a consistent comparison of different risks, a uniform data base of the assets is essential. Therefore, the aim is to calculate values for building and their content in different economic sectors, particularly in the sectors of private housing, commerce and services, as well as industry. The values of other economic sectors are also shown in this section in order to demonstrate the contribution to the whole damage potential.

The assets were estimated by means of the statistics. As assets are not distributed uniformly throughout the country, a measure has to be found with accounts of the different factors concentration. The spatial variation of the assets within the city was neglected in this approach.

For the loss estimation models, a spatial distribution of the assets is needed. Therefore, the values had to be allocated to object classes within the land registers. An example of the estimation of assets is shown below:

*Table I.* Estimation of assets in the city of Cologne on the basis of land use information system ATKIS and unit economic values (Statistical Office North Rhine-Westphalia, 2000) (Reference year: 2000, cf. text).

Economic sector	Area [km <sup>2</sup> ]	Share of total [%]	Unit economic value [€/m <sup>2</sup> ]	Total asset in Cologne [billion€]	Share of total [%]
Agricultural area	111.01	26%	–	–	–
Other	100.38	25%	–	–	–
Private housing	79.10	20%	1015	80.25	60%
Manufacturing & Industry	35.30	9%	362	12.79	10%
Public Service & Infrastructure	26.77	7%	467	12.49	9%
Commerce & Services sector	14.25	4%	1179	16.81	13%
Traffic & Communication	17.87	4%	67	1.09	1%
Water	15.27	4%	–	–	–
Energy & Water supply	5.19	1%	1785	9.25	7%
Total	405.14	100%	—	132.68	100%

**Figure 73: Estimation of assest in the city of Cologne (Statistical Office North Rhine-Westphalia, 2006)**

By multiplying the unit value and the area of an object, the economic value of each object was obtained. For example the total value for the city of Cologne is of 133 billion €.

For each three natural disasters, a set of potentially damaging scenarios events was selected. There were related to a certain probability levels of the hazard assessments and were applied also for the seismic risk assessments. For these scenarios it was evaluated which assets are exposed to the hazardous events and what the effects are.

For the estimation of looses due to inundation, direct monetary looses were estimated superimposing inundation patterns. For each are the inundation depth and the economic sector were determined. The relative flood loss per area was estimated by means of stage-damage functions according to MURL (2000). Monetary flood loss results from the multiplication of the damage ratio by the total economic value per unity of area.

In all, flood looses were estimated for 15 inundation scenarios, so that a relationship between the water level and the total direct flood losses in the sectors was constructed.

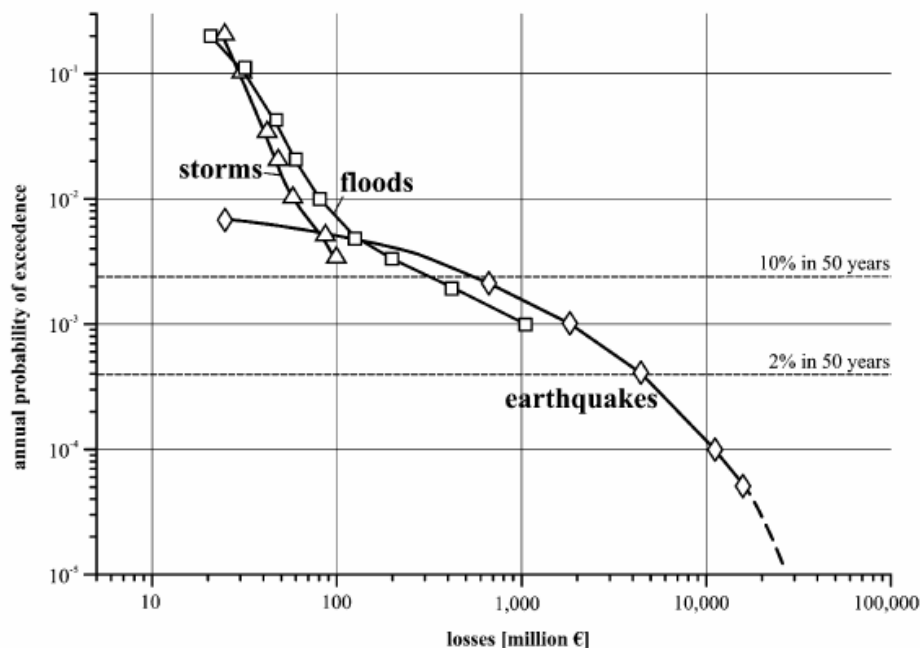


Figure 8. Risk curves of the hazards due to windstorms, floods and earthquakes for the city of Cologne for losses concerning buildings and contents in the sectors private housing, commerce and industry (reference year: 2000).

**Figure 74: Risk curves due to windstorms, flood and earthquake (Grünthal G. et al., 2000)**

The estimation of losses depends on the building earthquake resistance. Therefore, a test area of 800 buildings in the city centre was surveyed in detail. Buildings were inspected and identified with respect to their buildings types and importance category as well as with respect to their structural system.

Losses due to earthquakes were estimated on the basis of deterministic scenarios assuming epicentres within the context of historical seismicity. The return periods of intensities were assigned in accordance to figure 77 below. Finally seismic risk maps were prepared for different intensities.

For performing a comparative risk assessment we will be based on the results of the site-response-analyses. On these bases differences in intensities of the different assets were determined for each city district of the case study, depending on the subsoil type. This intensity increment can be understood as correction values for the site intensity and were finally inserted as such into the calculation of the mean damage (dm).

The assets were taken using a correlation between mean damage grade (dm) and Mean Damage Ratio (indicating the loss of percentage of the replacement value).

The losses can be expressed in terms of annual probabilities of exceedence corresponding to the mean or statistical intensity given in the figure 77.



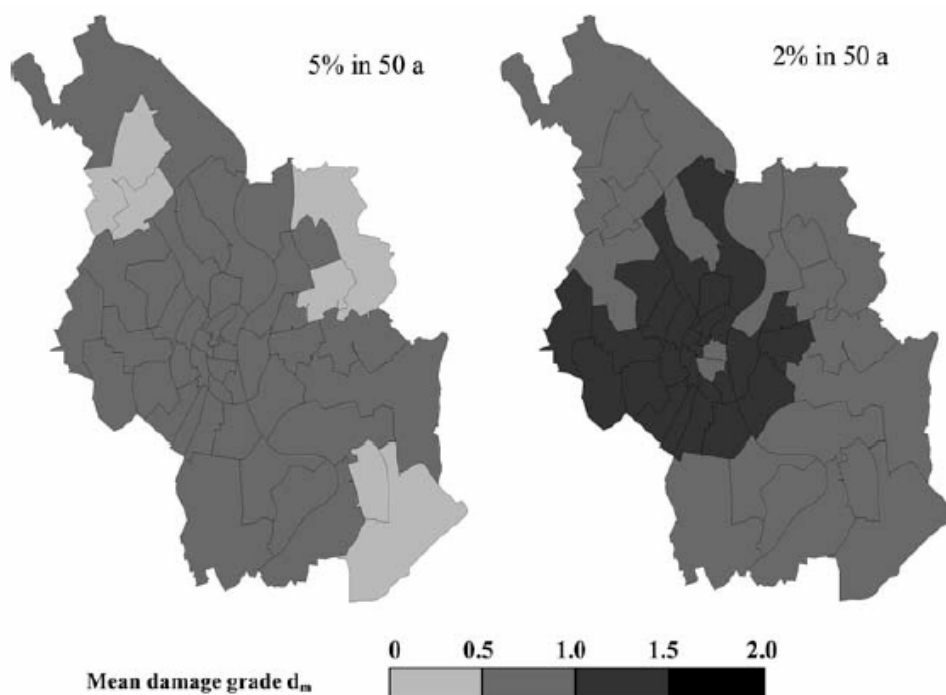


Figure 7. Mean damage grades  $d_m$  according to the EMS-98 in postcode-areas of Cologne for two different hazard levels (5% in 50 years,  $T=1000$  years; 2% in 50 years,  $T=2475$  years).

**Figure 75: Mean damage grades according to the EMS-98 (Grünthal G. et al., 2006)**

To sum up the comparison of different risks is a fundamental prerequisite to use a common risk indicator. In this study the authors calculate a risk curve for each disaster type that shows the total monetary losses for buildings and contents, commerce and industries, against their exceedence probability. These curves were calculated only for the most probable estimates; uncertainties were not considered in this study.

Altogether, the risk curves demonstrate such relationships between losses and probabilities fairly well, albeit from a country-wide or a city-related perspective and in the probability ranges where they overlap.

This method has been developed for decision makers (disaster management agencies, urban planners, insurers, regional and local authorities...). An experience with them shows that they need comprehensive information which includes all relevant hazard types. A multi-risk assessment enables the comparison of different risks within an urban area and can reveal the characteristics of different disaster types.

Risk curves encompassing the entire indicator, provides better and more comprehensive information for disaster mitigation than measures for the expected annual damage (EAD).

Complete multi-hazard risk curves allow to evaluate the significance of different disaster types better, to raise awareness for the various aspects of disaster mitigation, and to develop tailor-made mitigation strategies.

Crowther K., Haines Y., **Application of the Inoperability Input-Output Model (IIM) for Systemic Risk Assessment and Management of Interdependent Infrastructures**, *Systems Engineering*, 2005, Vol8, pp 323-341.

Haines Y., Lambert J. et al., **Inoperability Input-Output Model for Interdependent Infrastructure Sectors. I: Theory and Methodology**, *Journal of Infrastructures Systems*, 2005, Vol11, pp 67-79.

**Commentaires** : Ces articles parlent de la méthode Inoperability Input-Output Model (IIM), une méthode utilisée pour estimer l'impact des interactions entre différentes infrastructures. Cette méthode est basée dans les analyses input-output, et est utilisée autant dans l'analyse comme dans la gestion de risques. Est normalement basée sur des bases de données (Bureau of Economic Analysis, USA), et donne comme résultat la quantification des conséquences de l'interaction entre les infrastructures et les secteurs économiques que les touchent, lors de la présence d'un risque. Cette méthode est normalement dirigée aux ingénieurs et aux experts de la gestion des risques (communes, bureaux d'études,...).

All risk assessments and management methodologies seek cost-effective and systemic assessments of risks, but none have completely captured risks resulting from interdependency. The method proposed by the authors (Inoperability Input-Output Model, IIM) is a tool that can be used in various aspects of the risk modelling, assessment, and management of large-scale economic-based engineering systems.

Its main target is to measure the propagation of perturbations or disturbances throughout a system of interconnected and interdependent infrastructures. This method is based in real data and the Nobel Prize-winning W. Leontief economic model.

The method considers an area as a system composed of various economic and infrastructures sectors that are coupled through their exchanges of physical commodities and services. They define an infrastructure as the basic framework, or features of a system or organization, that includes the basic physical systems of the country and community (transportation, water systems...)

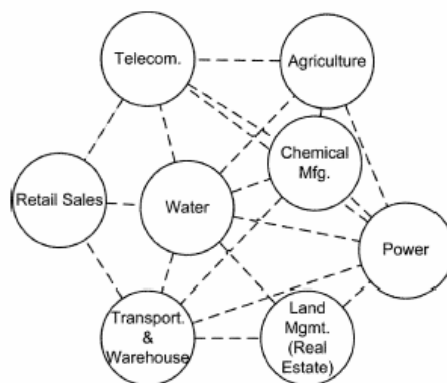


Figure 1. Illustration of interconnected infrastructure sectors.

Figure 76: Illustration of interconnected infrastructures sectors (Crowther K., Haines Y., 2005)

The interdependences described in this paper focus on logical interdependencies that are based on equilibrium economic transactions. The authors show how these interdependencies are interesting into the cascading impacts of natural disasters.

This model is based on the basic Leontief structure, which combines assumptions of proportionality and output balance that define an economy at equilibrium. The following equation describes the degree of logical interconnectedness among various sectors on the economy. This calculation will be extrapolated (Haines 2005) to calculate the interconnection between infrastructures.

$$\mathbf{x} = \mathbf{Ax} + \mathbf{c} \Leftrightarrow \left\{ x_i = \sum_j a_{ij}x_j + c_i \right\} \quad \forall i,$$

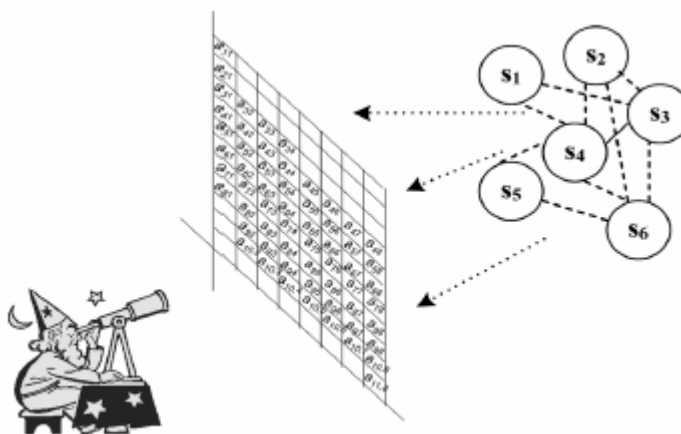
where, for  $i, j$  from 1 to  $n$ , the variables are defined as follows:

- $a_{ij}$ : proportion of sector  $j$ 's output that is intermediate consumption of sector  $i$ ,
- $c_i$ : final demand for (or final consumption of) sector  $i$ 's output,
- $x_i, x_j$ : total output of sectors  $i$  and  $j$ , respectively.

**Figure 77 : Degree of logical interconnectedness (Crowther K., Haines Y., 2005)**

These papers seek to use metrics of inoperability and economic impact to illustrate the application of logical interdependency analysis into a system risk analysis process for large-scale systems. The final application shows an extension of input-output modelling that derives Pareto optimal recovery strategy based on known effectiveness of historical recovery investments.

A technical coefficient matrix  $A$ , will be created to express a perspective of sector interdependencies, capturing the linear proportions of all intermediate consumption in both the infrastructure and economic sectors at equilibrium.



**Figure 78 : Technical coefficient matrix (Crowther K., Haines Y., 2005)**

In this way we will define the interconnections between infrastructures and its economic consequences. This technical matrix is derived from production and consumption data reported by the Bureau of Economic Analysis (BEA, USA). The coefficient matrix is formed from the product of the data from the normalized Use Matrix and Make Matrix. The Make matrix is a report of the quantity of commodities made by each industry sector scaled by producers' prices. The Use matrix will report the annual consumption of commodities.

**Table I. Sample Make Matrix for 1997 U.S. Economy (from U.S. Department of Commerce [1997])**

<i>Industry</i>	<i>Commodity produced</i>	<i>Value (in million \$)</i>
112100	112100	59,685.90
112100	115000	1,504.50
112100	230220	26.00
112100	311612	18.90
112100	713A00	1,342.90

**Figure 79: Sample Make Matrix (US Department of Commerce, 1997)**

The adaptation of this model to the infrastructures interconnection is done by (Haimes and Jiang, 2001). It follows the following form:

$$\mathbf{x}^P = \mathbf{A}^P \mathbf{x}^P + \mathbf{c}^P \Leftrightarrow \left\{ x_i^P = \sum_j a_{ij}^P x_j^P + c_i^P \right\}, \quad \forall i. \quad (2)$$

**Figure 80: Degree of logical interconnectedness between infrastructures (Haimes and Jiang, 2001)**

The only difference with the equation below is that  $\mathbf{c}^P$  will represent the disturbance input to the interconnected infrastructures, especially perturbation in the form of natural events. The output state,  $\mathbf{x}^P$ , is defined as the resulting vector of inoperability of the various infrastructures due to their connections to the perturbed infrastructures and to one another. In this interpretation the physical interdependency matrix,  $\mathbf{A}^P$ , is a measure of interdependency between the various physical subsystems within the larger system.

Input-output analysis enables the user to intuitively calculate how perturbation to a single subsystem will cascade and affect each sector (subsystem) in the system.

The physical IIM enhances the capacity of the basic input-output model and it also provides a more accurate representation of the complexity and interdependency of physical systems. The problem is the high expenses of gathering large amounts of transactional data in order to detail intersectors connectivity.

Therefore a demand-reduction and a supply-reduction IIM appear there are based on BEA data base in order to reduce the high cost of data gathering. The first one is a system that reflects logical interdependencies between infrastructures and economic sectors derived from their use of commodities. And the second is based on transaction data, which reflects interdependencies from the perspectives of how sectors produce commodities. There are explained in detail in the paper.

However, no analytical or physical model exists today that captures the interdependencies among all sectors of the economy and thus provide detail to regional interdependency analysis.

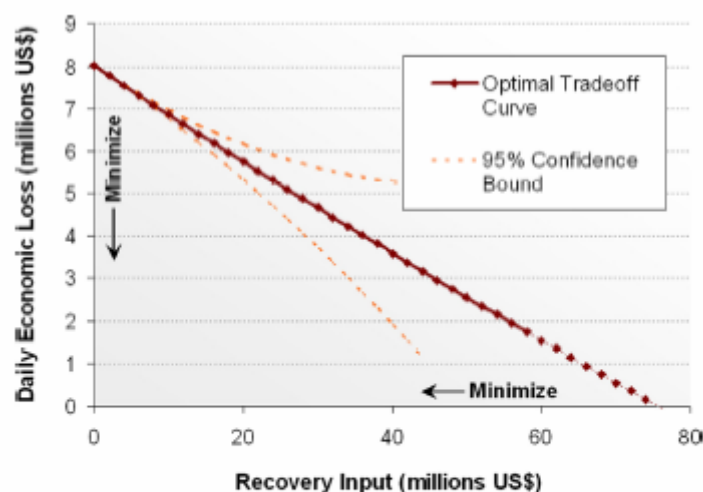
From the IIM, interdependency analysts are able to estimate the propagating disturbance of an event that will cause inoperability and economic losses due to both users inability to receive supplies.

This model is based on many assumptions (Haimes, 2005) that limit its application. As a result of these assumptions direct and indirect losses due to significant physical damage are not directly considered without the integration of engineering models. Therefore, results focus on losses from logical interdependencies and other models must extend to other studies to account for other types of interdependencies more completely.

“Despite the limitations this model is “well suited” to examining how damage in some sectors can ripple through the economy” (Rose, 2004).

These papers examine several applications of input-output modelling, namely the IIM., to the risk assessment and management of interdependent infrastructures. In the risk management the IIM enables engineers and analysts to systematically measure the sector consequences of engineering tradeoffs (security policies limitation...) imposed on the performance of subsystems.

Risk management often includes a process of multiobjective optimization to determine a set of no inferior (or Pareto-optimal) solutions. This process can be carried out if there is sufficient data availability and the objectives can be represented by coherent metrics. Inferior solutions are discarded and preferred Pareto-optimal solutions are used to manage the risks to the systems. Here below there is an example of a Pareto-optimal trade-off between economic loss and recovery cost for a power loss.



**Figure 12.** Pareto-optimal tradeoff between economic loss and recovery cost for initial power loss to 800,000 customers. [Color figure can be viewed in the online issue, which is available at [www.interscience.wiley.com](http://www.interscience.wiley.com).]

**Figure 81:** Pareto-optimal tradeoff between economic loss and recovery (Crowther K., Haimes Y., 2005)

The IIM presents a perspective of interdependencies to calculate the cascading effects from a natural disaster. The following flowcharts illustrate how these perspectives can be used in risk assessments and management process.

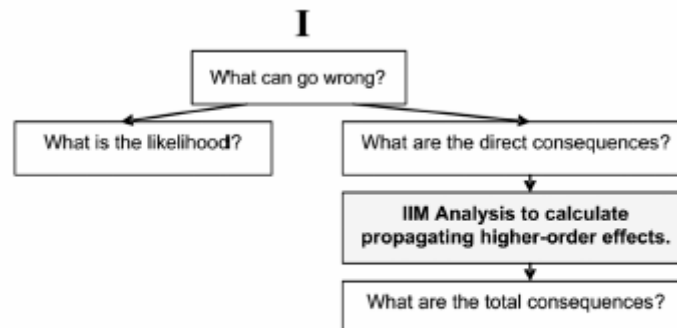


Figure 3. Example of IIM analysis in risk assessment process.

Figure 82: Example of IIM analysis in risk assessment process (Crowther K., Haines Y., 2005)

Complete risk assessments, as described above, sets a solid foundation for risk management. Because cascading effects are quantified, we can develop better investments strategies to systemically explore risk management options and avert the consequences (economic loss and functional inoperability) that could result form sector risks to a complex interconnected system. The IIM quantifies how risk management policies based on uncoupling the interdependencies will reduce the risk to all sectors.

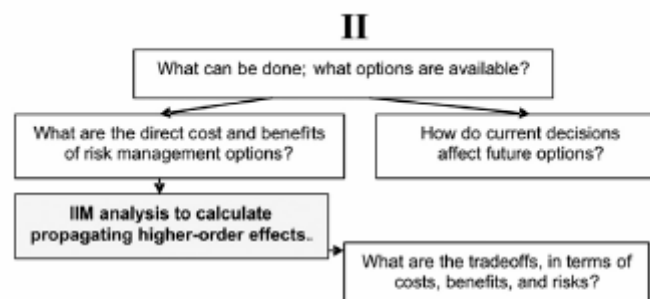


Figure 4. Example of IIM analysis in risk management process.

Figure 83: Example of IIM analysis in risk management (Crowther K., Haines Y., 2005)

Three case studies show applications of the IIM. The case study I will illustrate the use of the IIM for an analysis of electric-power infrastructure vulnerability. These results can be used to initially estimate where more detailed assessments are required and where risk management policies may be most effective in reducing system risks.

In case study II, the IIM is used to show the propagating effects of risk management policies. Here again, the results provide an essential first stage in systemic assessment process. The desired risk management option can then be integrated into the system with the smallest total undesirable impact to sectors.

The case study III demonstrates how the IIM can be combined with a sector-specific cost model to calculate the Pareto-Optimal frontier for two objectives. This type of calculation will furnish a means of comparing risk management options against multiple objectives and help the decision maker to quantitatively justify optimal recovery strategies.

These three cases are explained in detail in the papers.

To sum up Inoperability Input-Output Models (IIM) provides a mean to analyze the interdependency of large-scale, interconnected infrastructure systems in cases where input-output modelling assumptions are appropriate. It accomplishes it by using commodity flow data as the foundation of interdependency calculations. This quantifies the transactions between the infrastructure and economic sectors.

Oliveri E. et Santoro M., **Estimation of urban structural flood damages : the case study of Palermo**, *Urban Water*, 2000, Vol2, pp 223-234.

**Commentaires :** Cet article développe une relation empirique entre les dommages produits par une inondation et la fréquence de l'événement déclencheur. A partir des données hydrologiques, physiques, économiques et sociales, et des estimations des experts, les auteurs établissent une démarche pour quantifier le dommage occasionné. Finalement, différentes mesures de mitigation sont proposées et analysées dans le but de réduire l'importance des conséquences dommageables des inondations dans la ville de Palermo. Il est principalement dirigé aux gestionnaires des réseaux dans les communes.

This paper talks about the development of the empirical frequency-damage relationship, derived from hydrologic, hydraulic relationships combined with physical and socio-economic data, which could be used as a judgement tool for flood mitigation measures in small and strongly urbanised areas. The main target of these relationships is to assess technical and economical efficiency of the various mitigation measures proposed.

The urban area of Palermo has been selected by the authors for this study. Specific methodological arrangements have been done in order to pay attention to the presence of monuments and estates of high cultural and artistic significance in this city.

Flood damage estimation should be carried out using information and data regarding historical floods damages in areas with similar social and economic characteristics. This information is rarely available in consequence based theoretical consideration must be followed.

Relationship between flood damage and the occurrence frequency of the event from the damage originates appears. These relationships are established under the simplifying hypothesis that the damage return period is the same as from the event from which the damage arises. In this paper the damage is calculated under the assumption that flood damage only depends on the water depth, for given social and economical conditions. Other factors such duration of flooding, velocity of floods and sedimentation loads are neglected.

The technique for establishing stage-damage relationships in urban areas is not so standardised. The present paper proposes the assumption as the damage is calculated as a percentage, depending on the water depth, of the total value of the property. The depth-percentage damage relationships are simpler to obtain than depth-damage ones.



Table 1  
Percent damage at given flood depth and land use (Appelbaum, 1985)

Land use	h (m)														
	0.3	0.61	0.91	1.21	1.52	1.82	2.13	2.43	2.74	3.04	3.35	3.65	3.96	4.26	4.57
1 Story, with basement	18	20	23	28	33	38	44	49	51	53	55	57	59	60	60
1 Story, no basement	10	14	26	28	29	41	43	44	45	46	47	48	49	50	50
1-1/2 and 2 Story, with basement	11	17	22	28	33	35	38	40	44	46	48	50	52	54	56
1-1/2 and 2 Story, no basement	9	13	18	20	22	24	26	31	36	38	40	42	44	46	47

Figure 84 : : Table referring to some damage percentage estimations done in two different US district corps (Appelbaum, 1985)

The analysis will depend on building characteristics and furnishing practices of each studied area. The analysis presented in this paper deals with small watersheds, carrying out detailed local studies.

The reliability of these studies depends on the quality of economic, hydrologic and hydraulic data used in their development. The uncertainty of this analysis arises from the limited amount of the available hydrologic and economic data.

The overall methodology can be resumed by the schema below. The last equation makes reference to the flood damage (D), which is expressed in term of  $A_{ij}$ , urban inundated area of an urban flood-prone area (A).  $A_{ij}$  is defined by  $[h_i, h_j]$  which are the water depths producing the floods.  $X$  must be the total value of properties within A, the property value per unit area  $x=X/A$  can be evaluated. Finally  $p_{ij}$  will correspond to the percentage damage occurred due to the water depths falling within the range  $[h_i, h_j]$ .

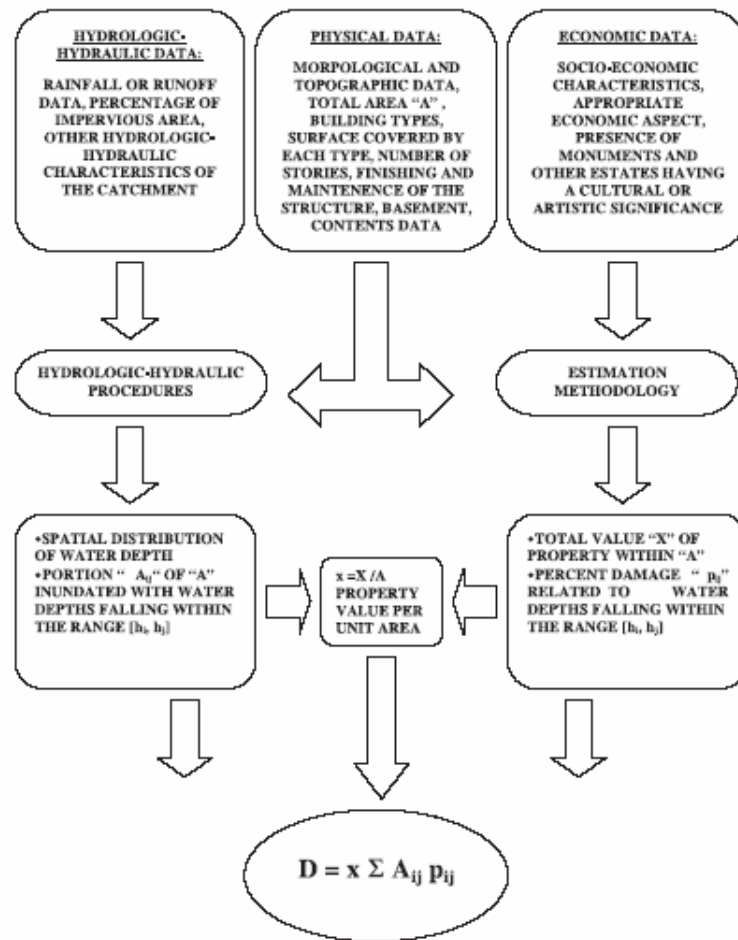


Fig. 1. Flowchart describing the adopted methodology.

Figure 85: Flowchart describing the adopted methodology (Oliveri E. et Santoro M., 2000)

In this paper the estimation of inundation depths resulting from floods of fixed return period has been evaluated using a numerical model simulating flood propagation in urban areas (Oliveri, Tucciarelli and La Loggia, 1996).

The model foundation relies on the concept of approximating the urban area with a network of rectangular channels, representing streets. The nodes fixed at extreme section link the channels. In each node there is a “submersible” area. Assuming a parabolic approximation, for each channel of the 1D De Saint Vincent Venant equations in conservation law, we will arrive to linear system that let us describe a shape of flooded area prediction.

A spatial distribution of maximum water depths is obtained interpolating the corresponding maximum water depths by the geostatistical Kriging method. The figure below shows the water levels contours for a 500 years return period. Referring to different return period water depth is therefore known for each building into analysed zone.

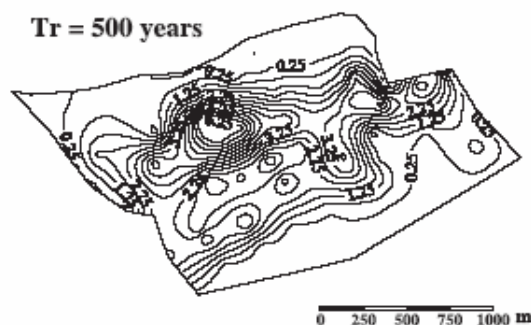


Fig. 3. Maximum water depths (m);  $T_r = 500$  yr.

**Figure 86: Maximum water depths in Palermo (Oliveri E. et Santoro M., 2000)**

For the percentage damage relationships calculated as a percentage, depending on the water depth, of the total value of the property, a prototype structure for each kind of building is identified. An ordinal classification has been made for taking into account the building quality, so allowing the correct economic evaluations concerning the structure's intrinsic characteristics. For each building type the value of the prototype structure has been estimated including the construction society profits, its general and technical expenses, the additional charges and taxes.

So the damage will be defined as the amount of property value, which is lost because of a flood event. Therefore, the estimation of a structure's value is an essential step in the percent damage methodology.

In the case study of the paper the authors pay special attention on the value estimation of historical and artistic properties, arriving to the conclusion that these properties values have been estimated increasing the value obtained for the maximum quality building type by 50%.

For establishing local depth percentage-damage relationships flood damage assessment is carried out using generalised depth percent damage relationships, obtained from large areas. However; it should be developed for the characteristic building and furnishing practices of each study area.

Table 4  
Average property values for the different building types in the "Centro Storico"

Building type	Ground-floor area (10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup> )	Floor no. of the prototype structure	Total area (10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup> )	Unit value (G£/10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup> )	Average value $V_i$ (G£)
Palazzo	24.862	4	99.447	17.988	1789
Palazzetto	24.055	3	72.165	10.604	765
Church, convent	8.425	2	16.849	26.982	455
Simple <i>catoio</i>	5.514	2	11.028	9.346	103
Multiple <i>catoio</i>	40.527	3	121.581	9.346	1136
1886 P.S. buildings	10.266	3	30.797	9.771	301
Post-war buildings	12.582	5	62.911	17.988	1132
Public buildings	27.870	4	111.481	10.604	1182

**Figure 87: Average property values for the different building types (Oliveri E. et Santoro M., 2000)**

The figure below shows the local depth-percent damage relationships calculated for two building types, with two and four storeys, respectively, having different average finishing levels and, consequently, different unit prices.

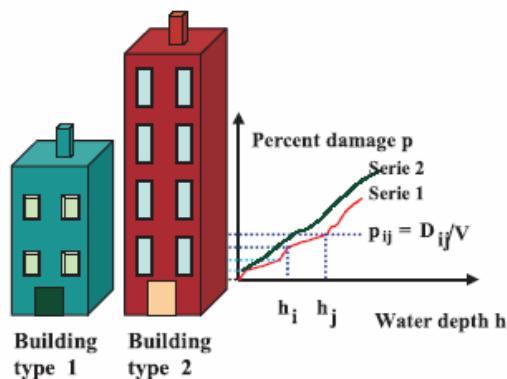


Fig. 4. Schematisation of the local depth-percent damage relationships evaluation procedure.

**Figure 88: Schematisation of the local depth-percent damage relationships evaluation procedure (Oliveri E. et Santoro M., 2000)**

Factors as damages incurred to gardens, roads, cars and car parks, the indirect damages such as the missing incomes due to suspended commercial and industrial activities or losses like human lives are neglected in this paper.

For the study case of Palermo the authors propose two different structural mitigation interventions regarding the low surveyed and bad or scarce maintenance of the drainage channels of the city:

- A cleaning intervention with elimination of sediments which reduce its conveyance capacity
- A cross-section enlargement, increasing its conveyance capacity. Three enlargement cases are envisaged. These three different scenarios have been studied for 500 yr return period. For each scenario frequency-damage relationships will be performed. The future benefits and the actual costs should be compared converting them to a common time basis.

These frequency-damage relationships will allow the evaluation of efficiency of the proposed interventions. However; it has been verified that the use of literature percent-damage relationships obtained for socio-economic conditions leads to an overestimation of the benefits produced by some proposed protection measures.

Table 7  
Estimated damages for different occurrence frequencies

Frequency	Damage (G€)
0.0200	423.9
0.0100	457.0
0.0033	506.5
0.0020	535.8
0.0010	561.1

**Figure 89: Estimated damages for different occurrence frequencies (Oliveri E. et Santoro M., 2000)**

To sum up this paper proposes an empirical relationship which can be considered as a quick and reliable tool for general and detailed general studies in small and strongly urbanized areas having hydrologic and socio-economic features similar to the analysed zone.

**Table des figures :**

Figure 1 : Effets en chaîne provoqués par un aléa. (Felts, 2002) .....	20
Figure 3 : IFIRE formula (Bisso M. et al, 2005).....	32
Figure 4 : Total travel distance (Bisso M. et al, 2005).....	32
Figure 5: Hazards classification (Bisso M. et al, 2005) .....	32
Figure 6: Statical distribution of landslide density (Ayalew L. et al, 2005).....	32
Figure 7 : Landslide density table (Ayalew L. et al, 2005) .....	32
Figure 8: Scale preference between two parameters in AHP (Saaty, 2000).....	32
Figure 9 : Pair-wise matrix (Saaty, 2000) .....	32
Figure 10 Hazard function (Ayalew L. et al, 2005) .....	32
Figure 11: Relative distribution of susceptibility levels (Ayalew L. et al, 2005).....	32
Figure 12: System-to-incident logic structure (Lambert H.et al., 2005) .....	32
Figure 13 : Combinaison composants/ anomalies (Lambert H.et al, 2005) .....	32
Figure 14 : Composants/ occurrence frequency graph (Lambert H.et al, 2005) .....	32
Figure 16 : EWMA method graph (Lambert H.et al, 2005).....	32
Figure 17 : Interaction entropy (Lambert H.et al., 2005) .....	32
Figure 19: Risk identification algorithm (Lambert H.et al., 2005) .....	32
Figure 20: Terrorism scenarios correlated to interdependent infrastructure networks (Lambert H.et al., 2005) .....	32
Figure 21: Superposition of infrastructure networks and their relation to the terrorism scenarios (Lambert H.et al., 2005) .....	32
Figure 22: Different types of collapse deposits (Bret et al., 2005).....	32
Figure 23: Simplified equation to estimate seismic loss of buried pipelines (Wang, 1991).....	32
Figure 24: Break rate depending of the material (Eguchi, 1983).....	32
Figure 25: Probability of having at least one pipe failure (Torres-Vera M. A. et Canas J. A, 2002).....	32
Figure 26: Seismic parameters for the seismic sources located around Boston (Cornell C.A: and Merz H.A., 1975) .....	32
Figure 27: Attenuation equation (Panoussis, 1974) .....	32
Figure 28: Network model for major highways within the Boston area (Taleb-Agha, 1977).....	32
Figure 29: Probability of failure (Sevtap Selçuk A. and Semih Yücemen M., 1999)....	32
Figure 30: Survival probability (Sevtap Selçuk A. and Semih Yücemen M., 1999) .....	32
Figure 31: Survival model bounds (Sevtap Selçuk A. and Semih Yücemen M., 1999) 32	
Figure 32 : Degree of correlation between two elements (Sevtap Selçuk A. and Semih Yücemen M., 1999).....	32
Figure 33: Sensitivity of network reliability to the number of segments (Sevtap Selçuk A. and Semih Yücemen M., 1999) .....	32
Figure 34 : Reliability of components for the multi-site model (Sevtap Selçuk A. and Semih Yücemen M., 1999).....	32
Figure 35: Reliability of a network (Sevtap Selçuk A. and Semih Yücemen M., 1999) .....	32
Figure 36: Terminal failure probability (Sevtap Selçuk A. and Semih Yücemen M., 1999).....	32
Figure 37: Reliability bounds for natural gas distribution system (Sevtap Selçuk A. and Semih Yücemen M., 1999).....	32
Figure 38: General structure of hierarchical holographic model (Haines 1981, 1999). 32	
Figure 39: Multiobjective trade-off analysis (Haines, 1999) .....	32

Figure 40 : Comparaison entre la méthode HAZUS et la méthode présentée. (Sohn et al, 2003).....	32
Figure 41 : Cadre d'analyse d'un scénario. (Sohn et al., 2003). .....	32
Figure 42 : Total cost increase. (Sohn et al., 2003). .....	32
Figure 43: Final demand decrease. (Sohn et al., 2003). .....	32
Figure 44: Ttransport cost increase. (Sohn et al., 2003).....	32
Figure 45 : Life-cycle cost framework. (Chang, Shinozuka, 1996) .....	32
Figure 46 Life cost with natural hazard. NA=Not Applicable . (Chang, Shinozuka, 1996).....	32
Figure 47 diagramme schématique du réseau de gaz de Tokyo (Shimizu Y et al, 2006). .....	32
Figure 48: géologie de Tokyo et simulation de SI pour un séisme de magnitude 7,2 (Shimizu Y et al,2006). .....	32
Figure 49 coefficients de la fonction de dommages (Shimizu Y et al,2006). .....	32
Figure 50 vulnérabilité des réseaux aux séisme, phase d'urgence (Menoni et al, 2002) 32	32
Figure 51 : extrait du tableau d'index de vulnérabilité en phase d'urgence. (Menoni et al, 2002).....	32
Figure 52 : L, longueur de réseau ouvert.....	32
Figure 53 définition de D(t) et A(t) .....	32
Figure 54 : définition de D <sub>s</sub> , A <sub>s</sub> , A <sub>i</sub> et w <sub>ij</sub> . .....	32
Figure 55 : temps de restauration des infrastructures après le séisme de Kobe en 1995.32	32
Figure 56: comparaison de l'impact de séismes sur les réseaux de transport. ....	32
Figure 57 : temps total, en semaines, nécessaire aux réparations selon le scénario. ....	32
Figure 58 : coût du cycle de vie et facteur de résilience.....	32
Figure 59 : système de câbles parallèles sujet à un chargement (« pullout loading ») (Hoshiya M., Yamamoto K.,2002).....	32
Figure 60 : Etat de dommage d'après Venn. ....	32
Figure 61 : Etat de dommage d'après Venn. ....	32
Figure 62 : Définition de R <sub>E</sub> , PDi/D et PDi/D.....	32
Figure 63 : index pour l'ensemble du système. ....	32
Figure 64 : plan du réseau d'eau potable pour une zone de Kobe.....	32
Figure 65 : pertes en chaque nœud de la zone de consommation A.....	32
Figure 66 : caractéristiques des interactions entre réseaux, Yao B., Xie L., Huo EJ. (2004). .....	32
Figure 67 : diagramme du cadre d'analyse de la fonction d'interaction, Yao B., Xie L., Huo EJ. (2004).....	32
Figure 68 : modèle d'activité sismique (Jacobson, 2004). PDG= permanent Ground Displacement. ....	32
Figure 69 : méthodologie générale pour obtenir la fragilité d'un réseau. (Jacobson, 2004).....	32
Figure 70 : fiche de résumé d'Anita Jacobson. ....	32
Figure 71: Distribution function showing exceedence probability in term of gauge discharge (Grünthal G. et al., 2006) .....	32
Figure 72: Selected inundation scenarios for Cologne (Grünthal G. et al., 2006) .....	32
Figure 73: Probabilistic hazard curves for the centre of Cologne (Grünthal G. et al., 2006).....	32
Figure 74: Estimation of assest in the city of Cologne (Statistical Office North Rhine-Westphalia, 2006).....	32
Figure 75: Risk curves due to windstorms, flood and earthquake (Grünthal G. et al., 2000).....	32

Figure 76: Mean damage grades according to the EMS-98 (Grünthal G. et al., 2006).	32
Figure 77: Illustration of interconnected infrastructures sectors (Crowther K., Haimés Y., 2005).....	32
Figure 78 : Degree of logical interconnectedness (Crowther K., Haimés Y., 2005).....	32
Figure 79 : Technical coefficient matrix (Crowther K., Haimés Y., 2005) .....	32
Figure 80: Sample Make Matrix (US Department of Commerce, 1997) .....	32
Figure 81: Degree of logical interconnectedness between infrastructures (Haimés and Jiang, 2001) .....	32
Figure 82: Pareto-optimal tradeoff between economic loss and recovery (Crowther K., Haimés Y., 2005).....	32
Figure 83: Example of IIM analysis in risk assessment process (Crowther K., Haimés Y., 2005).....	32
Figure 84: Example of IIM analysis in risk management (Crowther K., Haimés Y., 2005).....	32
Figure 85 : : Table referring to some damage percentage estimations done in two different US district corps (Appelbaum, 1985) .....	32
Figure 86: Flowchart describing the adopted methodology (Oliveri E.. et Santoro M., 2000).....	32
Figure 87: Maximum water depths in Palermo (Oliveri E.. et Santoro M., 2000).....	32
Figure 88: Average property values for the different building types (Oliveri E.. et Santoro M., 2000).....	32
Figure 89: Schematisation of the local depth-percent damage relationships evaluation procedure (Oliveri E.. et Santoro M., 2000).....	32
Figure 90: Estimated damages for different occurrence frequencies (Oliveri E.. et Santoro M., 2000).....	32