

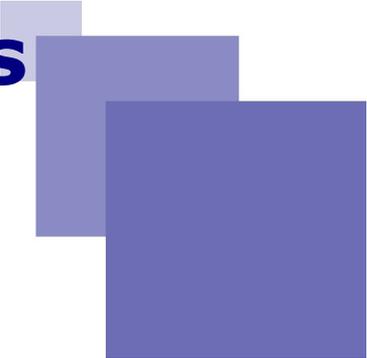
Chapitre 1

Introduction à la problématique des risques en Génie Civil

COORDONNATEUR : H. NIANDOU

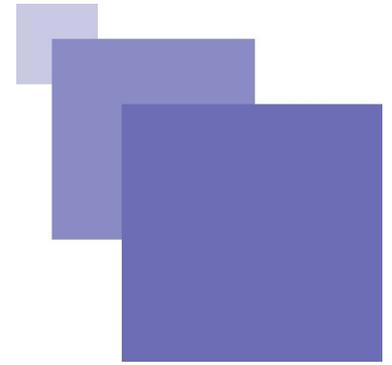
AUTEUR : D. BREYSSE

Table des matières



Objectifs	5
Introduction	7
I - Risques et constructions : quelques éléments du panorama	9
A. Le risque zéro n'existe pas.....	9
B. Accidents et défaillance - revue de presse de 2007.....	10
C. Constructions – homme et environnement : risques subis et risques induits	12
D. Au-delà de la dimension technique.....	14
Glossaire	15

Objectifs



Ce chapitre introductif introduit, en nous appuyant sur quelques exemples, le concept de défaillance en génie civil. Il illustre le caractère récurrent des accidents liés aux constructions, d'origine technique ou d'origine naturelle, et la diversité des causes de défaillance.

On montre aussi que les ouvrages peuvent aussi bien être à la source du danger que subir les menaces issues de l'environnement, d'origine climatique, tellurique ou anthropique.

L'analyse des risques dans le domaine de la construction vise à répondre principalement à deux questions majeures :

1. comment le génie civil peut-il au mieux contribuer à assurer une protection efficace et à améliorer la sécurité des populations soumises aux phénomènes naturels ?
2. comment concevoir et dimensionner les ouvrages de génie civil pour qu'ils ne constituent pas eux-mêmes une source de danger pour les populations ?

Enfin, on montrera qu'une approche exclusivement technicienne ne saurait suffire et que traiter efficacement des questions de risque exige de considérer aussi les dimensions psychologique, sociologique, économique, politique...

Risques et constructions : quelques éléments du panorama

Le risque zéro n'existe pas	9
Accidents et défaillance - revue de presse de 2007	10
Constructions – homme et environnement : risques subis et risques induits	12
Au-delà de la dimension technique	14

A. Le risque zéro n'existe pas

Dans les sociétés occidentales, la population éprouve généralement un sentiment de sécurité envers les ouvrages dans lesquels elle vit et travaille. Ce sentiment résulte du fait qu'une grande part des risques susceptibles d'affecter les ouvrages ont été correctement anticipés et traités par les ingénieurs. Les règles employées pour la conception et la construction assurent le plus souvent une sécurité effective. Les risques ne sont alors perçus que lorsque surviennent des accidents ou des défaillances spectaculaires.

Certaines catastrophes ont eu un large retentissement (la rupture du Pont de Tacoma, l'effondrement des tours jumelles du World Trade Center, l'écroulement de la tribune du stade Furiani à Bastia). Plus récemment, l'effondrement du Terminal E de Roissy ou la défaillance brutale du pont autoroutier de Minneapolis sur le Mississippi nous ont rappelé que les ingénieurs ne sont pas infallibles et que ces phénomènes spectaculaires peuvent affecter aussi bien des ouvrages anciens que des ouvrages neufs.

Ces événements sont très différents, par leur nature aussi bien que par leurs causes ou leurs conséquences. Des défaillances moins exceptionnelles ou des accidents, plus ou moins graves, se produisent régulièrement, et suscitent souvent un écho bien moindre. L'échantillon de 10 nouvelles rassemblées ci-dessous couvre, à titre d'illustration, l'année 2007, sans viser à l'exhaustivité.

B. Accidents et défaillance - revue de presse de 2007

La majorité de ces informations proviennent de coupures de presse et de dépêches publiées sur Internet. Certains de ces cas a fait l'objet d'un large débat, national ou international. Pour quelques autres, les informations disponibles demeurent partielles.

1. **25 février 2007, Rivière Saint-Etienne, Réunion, France.** Le pont de la Rivière Saint-Etienne, long de 520 mètres, s'est effondré. Une des neuf piles du pont aval de la rivière Saint-Etienne a cédé sous la pression des flots en crue (le cyclone Gamède a provoqué des précipitations de 2 000 litres/m² en trois jours). L'ensemble du tablier construit d'un seul tenant s'est alors affaissé comme un château de cartes. Ce pont, emprunté quotidiennement par 50.000 véhicules, est vital pour les liaisons routières de l'île.
2. **27 mars 2007, Pékin, Chine.** La police a décidé d'emprisonner dix personnes à la suite de l'effondrement d'un tunnel de chemin de fer en construction en prévision des Jeux Olympiques de Pékin. L'accident a tué six ouvriers. Les responsables de la société d'Etat en charge de la construction avaient d'abord tenté de cacher l'accident en interdisant toute communication aux ouvriers et en confisquant leurs téléphones portables, pendant qu'ils s'efforçaient de secourir les ouvriers piégés par l'effondrement.
3. **29 avril 2007, Oakland, Californie, Etats-Unis.** Un chauffeur de camion citerne transportant du carburant a pris un virage trop rapidement et est sorti de la route. Le camion s'est enflammé sous le tablier d'un pont autoroutier emprunté chaque jour par 75000 véhicules. Les poutres métalliques se sont déformées et le tablier s'est effondré. L'effondrement d'un ouvrage situé à un nœud autoroutier important a de graves conséquences pour le trafic.
4. **10 mai 2007, Surat, Inde.** Un immeuble de quatre étages s'est effondré comme un château de cartes, sans faire de victimes car les pompiers l'avaient fait évacuer à temps. Des occupants avaient trouvé que l'immeuble penchait et avaient appelé la police. La mauvaise qualité des matériaux pourrait être en cause, ainsi que les deux énormes panneaux publicitaires placés sur le toit.
5. **16 juillet 2007, Niigata, Japon.** Un séisme de magnitude 6.6. frappe la région de Niigata, faisant 7 victimes et détruisant un millier de maisons, principalement des constructions traditionnelles à ossature bois.
6. **1 août 2007, Minneapolis, Minnesota, USA.** Un pont supportant le passage de l'Interstate 35W sur le Mississippi s'effondre à une heure de pointe, ce qui a fait basculer des dizaines de véhicules dans le fleuve et provoque la mort de seize personnes. Le pont construit en 1967 avait été présenté comme étant «structurellement défectueux» dès les années 90. Il était en cours de réparation au moment de la catastrophe. L'accident est considéré comme une catastrophe nationale et provoque un débat national sur la qualité de l'entretien des infrastructures et l'insuffisance des budgets dégagés à cet effet.
7. **26 août 2007, Arch Cot Terrace, Brittons Hill, St Michael, Barbade.** Un immeuble d'habitation s'effondre, faisant 5 victimes, lors de la remontée à la surface d'une cavité karstique. Le pays est en état de choc et le gouvernement rassure les habitants en disant que tout sera fait pour maîtriser la situation.
8. **9 septembre 2007, Hyderabad, Inde.** Un pont urbain en construction s'effondre faisant quatre victimes, qui s'étaient réfugiées sous le tablier pour être à l'abri de la pluie. La chute des dalles de béton a aussi écrasé de nombreux véhicules. L'accident a été causé par l'instabilité des tours

d'étalement, leur base étant sapée par les fortes pluies suite au creusement proche d'une tranchée. Une conséquence immédiate est la plongée en bourse du cours de l'entreprise de construction Gammon, en charge des travaux, le cours s'effondrant de plus de 11 % le lendemain de l'accident. Trois ingénieurs ont été suspendus pour négligence.

9. **26 septembre 2007, Can Tho, Vietnam.** La rampe d'accès au pont autoroutier de Can Tho en construction s'effondre, faisant 54 victimes et une centaine de blessés. La raison invoquée est l'affaiblissement du sol de fondation des échafaudages à la suite de fortes pluies. Le pont à six voies, dans la région du delta du Mékong est l'un des plus longs du pays.
10. **8 novembre 2007, Dubai, Emirats Arabes Unis.** 7 ouvriers de construction indiens sont tués quand la charge d'une grue heurte un pont en construction. La police souligne l'erreur du grutier et le manque de supervision sur le chantier. Trois responsables sont emprisonnés. La société de construction a promis d'indemniser les familles des victimes.

Si le cas de Minneapolis (cas 6) a été largement repris par la presse nationale et internationale, les autres ne l'ont pas ou peu été. Un bref examen montre une grande variété des situations : ouvrages en construction, ouvrages en exploitation, ouvrages vieillissants, voire abandonnés. Tous les pays sont concernés, qu'il s'agisse des pays occidentaux, des pays émergents ou des pays en voie de développement. Les types de structure sont, eux aussi, très divers.

Ces quelques extraits de presse font apparaître des problèmes d'ampleur et de nature très diverses. On aurait pu en ajouter quelques autres, où la menace est connue et perçue, mais où la défaillance ne s'est pas (encore ?) produite. On peut aussi distinguer les défaillances, parfois brutales, d'ouvrages de génie civil et les phénomènes d'origine naturelle, menaçant les ouvrages (crues (cas 1), séismes (5), cavités (cas 7), pluies diluviennes (cas 8, 9). Ils introduisent aussi quelques concepts clés comme :

- la prévention : arrêté d'évacuation (cas 4),
- le non respect des règlements de construction ou des règles de sécurité (souvent),
- les erreurs humaines (cas 10),
- la corruption (cas 2),
- les conséquences économiques (cas 3 et 8).

Le caractère succinct des résumés ne permet pas, à ce stade, une analyse sérieuse des causes de défaillance. Nous reviendrons sur ce point au premier étage.

Il est devenu banal de dire que « **le risque zéro n'existe pas** ». Une telle phrase a même tendance à revenir dans la bouche de ceux qui souhaitent invoquer la fatalité pour se dédouaner d'éventuelles responsabilités. Elle peut, au contraire, masquer une politique d'entretien inadaptée. Le « poids des ans » ne saurait constituer une excuse acceptable.

Face à une société de plus en plus exigeante en matière de sécurité, il apparaît donc essentiel de comprendre dans quelle mesure, et dans quelles limites raisonnables, les risques peuvent être maîtrisés. La compréhension des phénomènes et la prise de conscience de la grande complexité des problèmes de risque sont des étapes indispensables pour une approche saine, logique et rationnelle de ces questions. Eviter des réactions disproportionnée, refuser une stratégie excessivement sécuritaire et mettre en œuvre une démarche raisonnée exige que, au-delà du regard technique et réglementaire, on soit en mesure de prendre en compte les dimensions socio-économiques ou psychologiques relatives aux questions de risques.

C. Constructions – homme et environnement : risques subis et risques induits

Toute construction est conçue pour se comporter convenablement dans un certain environnement de sollicitation, que cet environnement constitue sa raison d'être principale (les actions du trafic sur un pont, ou les chutes de rochers sur un ouvrage de protection contre les avalanches), ou qu'il soit « accidentel » (une tempête, une chute de neige exceptionnelle, un séisme ou une explosion...). L'ouvrage de génie civil doit à la fois protéger efficacement les usagers des actions extérieures et ne pas constituer lui-même une menace pour ces mêmes usagers, du fait d'une défaillance éventuelle.

Le rôle que tiennent les ouvrages de génie civil face aux risques ne peut donc pas être abordé de manière simpliste : les constructions peuvent être la cause d'agressions de l'environnement ou, au contraire, être conçues pour le protéger (Deneufbourg, 2000). Placer un ouvrage dans le milieu naturel, c'est lui attacher, de fait, un environnement (géotechnique, hydrologique, climatique) susceptible de l'agresser : actions du vent, du gel, des mouvements de terrain, des crues... Mais urbaniser ou aménager l'espace peut aussi modifier les équilibres naturels et donc, potentiellement, les actions de l'environnement.

Les ouvrages de génie civil sont soumis aux risques induits par des aléas environnementaux : vents de tempêtes, chutes de neige exceptionnelles, séisme, inondations catastrophiques... Face aux risques d'origine naturelle comme face à ceux d'origine technologique (explosions, pollutions...), on attend a priori que le génie civil assure notre protection... C'est, heureusement, le cas dans la plupart des situations : les ouvrages qui satisfont les usagers sont, comme les trains, plus nombreux que ceux qui ne fonctionnent pas, mais les défaillances existent, comme l'ont montré par exemple les conséquences des tempêtes de décembre 1999 sur les pylônes des lignes à haute tension. Au-delà des aspects cataclysmiques que peuvent revêtir les actions de l'environnement, n'oublions pas des phénomènes qui, pour être moins spectaculaires ont, de par leur grande fréquence, des conséquences non négligeables, comme par exemple les mouvements de sols dus à la sécheresse qui peuvent créer des désordres significatifs sur les constructions.

On entend parfois dire que, face à un « bétonnage excessif », la nature « reprend ses droits » : une inondation ou un glissement de terrain qui n'aurait rien de catastrophique dans un milieu naturel peut avoir de graves conséquences si ce même milieu a fait l'objet d'une urbanisation non réfléchie. Les « droits de la nature » peuvent être soumis à rude épreuve lors d'aménagements anarchiques, lorsque la construction d'un barrage induit la noyade d'une vallée entière, lorsque le creusement d'un tunnel affecte les immeubles de surface ou lorsque des aménagements littoraux modifient les mécanismes de sédimentation dans la frange littorale. L'impact de la construction peut donc se faire sentir sur le paysage, en surface ou en profondeur.

L'ouvrage de génie civil, comme le Janus de la mythologie, a donc deux visages : il protège mais il peut aussi constituer une menace. Il est usuel de dire que les séismes n'ont jamais tué personne : c'est l'effondrement des habitations et des ouvrages qui, consécutivement au séisme, génère les dégâts. Plus grave, l'ouvrage est parfois lui-même source de danger⁵ : l'effondrement d'un pont en conditions normales d'exploitation⁵, la rupture brutale d'un barrage, l'explosion d'un silo, peuvent être la cause de la catastrophe. Le génie civil devient alors source de risque technologique⁶.

Pour résumer, l'interaction entre le(s) risque(s) et les ouvrages de génie civil peut être étudiée en considérant trois situations :

- **l'ouvrage est conçu pour diminuer le risque** : digue protégeant des inondations, ouvrage paravalanche, mur de soutènement pour une pente

instable...,

- **l'ouvrage est soumis au risque** : c'est bien entendu le cas des ouvrages cités ci-dessus mais plus généralement de tous les ouvrages, que le risque provienne de phénomènes naturels exceptionnels (cyclones, crues...) ou d'actions d'exploitation plus courantes,
- **l'ouvrage est générateur potentiel de risque** : c'est le cas d'ouvrages prestigieux (barrages, centrales nucléaires, tunnels...) mais aussi des constructions les plus simples qui peuvent, par leur seul effondrement, avoir des conséquences catastrophiques.

La réalité ne se prête qu'imparfaitement à ce découpage artificiel et les interactions entre la nature et la technique sont plus riches. Au XX^{ème} siècle, l'action de l'homme a conduit à modifier significativement l'environnement. Il n'est pas nécessaire d'aborder la question du réchauffement planétaire (« global warming ») pour constater que les phénomènes naturels ne le sont plus totalement... Les inondations fréquentes, telles celles subies dans la Somme au début de l'année 2001 résultent certes de précipitations exceptionnelles, mais aussi de modifications d'origine humaine : changement de pratiques agricoles, plus ou moins bon entretien des canaux et des réseaux de drainage, imperméabilisation des sols liée à l'urbanisation...

Dans un autre domaine, les mouvements de sols liés à des effondrements de cavités souterraines peuvent être perçus comme des phénomènes naturels. Or, nombre de ces cavités résultent de l'exploitation de ressources minérales il y a quelques centaines ou dizaines d'années :

- les extractions de pierre de construction à la périphérie des villes d'il y a deux siècles génèrent aujourd'hui des risques pour les constructions de ces mêmes agglomérations,
- les anciennes marnières menacent de nombreuses communes de Normandie...),
- les exploitations minières abandonnées sont une source de danger dans le Nord et l'Est de la France...

La dimension temporelle est, à l'heure où l'on parle de développement durable, une dimension essentielle de la problématique du risque. C'est l'oubli du danger qui est dans ce cas à la source du danger.

La situation est parfois plus complexe encore. L'anthropisation du milieu, à laquelle le génie civil contribue, modifie le risque. Par exemple en hydrologie, un même aléa pluviométrique (pluie de durée et d'intensité donnée) a des conséquences hydrologiques différentes selon les caractéristiques géographiques, morphologiques et urbanistiques du bassin-versant (naturel, péri-urbain, urbain...) sur lequel la pluie tombe. Le temps de concentration des eaux diminuant pour les milieux urbanisés (l'infiltration est moindre et le ruissellement accru), une pluie de courte durée et de hauteur précipitée donnée peut avoir les mêmes effets en termes de lame d'eau qu'une pluie plus intense (et donc plus rare) en milieu naturel. Cela conduira à considérer des événements naturels (aléas) différents si le même degré de protection est visé dans les deux situations [Favre, 1998].

La prise de conscience de la dimension « risques et sécurité » des ouvrages de génie civil est relativement récente. Un siècle de culture scientifique avait conduit à mettre en place des programmes de formation en école d'ingénieurs ou à l'université qui rendaient les étudiants aptes à concevoir et à construire des ouvrages neufs. Ce n'est que depuis une vingtaine d'années que des concepts tels que dégradation, gestion patrimoniale, risque, environnement... ont fait progressivement leur apparition dans ces programmes, sous la pression de la réalité : l'étude d'un ouvrage n'a de sens que dans un environnement (climatique,

chimique, mécanique...) susceptible d'exercer sur lui des actions complexes. L'ouvrage peut être conçu de façon satisfaisante à l'origine mais voir ses performances se dégrader au fil du temps. Les compétences attendues des ingénieurs, et donc les contenus des formations s'adaptent donc progressivement à cette nouvelle situation.

Sans réduire la défaillance à la rupture brutale et catastrophique, nous verrons comment la prise en compte, dès la phase de conception, des défaillances possibles doit conditionner la logique d'analyse de l'ingénieur, de manière à mieux répondre à l'ensemble des exigences que l'on a pour les ouvrages.

D. Au-delà de la dimension technique

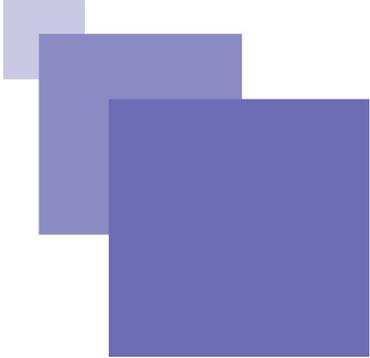
Il existe une demande sociale forte de sécurité : il n'est pas « normal » de voir sa voiture happée par un cratère qui se crée au milieu d'une voirie urbaine ou le plafond d'une salle de classe s'effondrer sur la tête d'un lycéen. Les usagers réagissent en conséquence et demandent des explications, voire des garanties, aux responsables politiques, qui se retournent vers les techniciens.

Le technicien ou l'expert tâche d'apporter des réponses adéquates : il répare, il cherche à expliquer et prend les mesures techniques visant à éviter la récurrence. Le responsable politique, garant de la sécurité, commande les travaux et doit assurer, ici par l'amélioration des procédures de contrôle et d'alerte, que tout danger est écarté. Il en résulte une remise à plat des systèmes d'alerte et une campagne de reconnaissance manifestement surdimensionnée et dont on peut se demander à quel objectif elle répond (répondre au problème technique ? rassurer la population ?). On notera enfin la dimension médiatique : les journalistes servent aussi de relais à la demande sociale et placent les acteurs face à leurs responsabilités.

Dans le domaine des risques d'origine naturelle, il est usuel de dénoncer l'impéritie des décideurs après chaque catastrophe naturelle : « c'est déjà arrivé... on savait pourtant ce qu'il fallait faire... on l'avait d'ailleurs décidé lors de la dernière catastrophe... mais on n'a rien fait... » sont des phrases souvent entendues en pareille situation. Un subtil mélange de fatalisme et d'inertie administrative peut suffire à réduire à néant les meilleures intentions.

Une approche raisonnée du risque doit donc, en se gardant de toute réaction excessive que peut engendrer l'émotion née d'un événement exceptionnel, analyser toutes les composantes techniques, socio-économiques, politiques et même psychologiques pour définir les stratégies les plus efficaces en termes de protection.

Glossaire



Aléa

Qualifie tout événement, phénomène imprévisible ou activité humaine qui peut provoquer la perte de vies humaines, des blessures, des dommages aux biens, des perturbations sociales ou économiques ou la dégradation de l'environnement.

Danger, menace (« danger, threat »)

Dans le langage usuel, le danger est ce qui menace ou compromet la sûreté, l'existence d'une personne ou d'une chose (Robert).

L'AFNOR le définit comme une source potentielle de dommages. Pour l'ISO, la menace est une cause potentielle d'un incident non désiré qui peut résulter dans des dommages à un système ou une organisation [ISO/IEC 13335-1:2004] [ISO/IEC 17799:2000].

Risque

Dans le langage courant, le risque est « un danger éventuel plus ou moins prévisible » (Petit Robert, 1996) ou « un danger, inconvénient plus ou moins probable auquel on est exposé » (Petit Larousse, 1997).

Définition scientifique :

- La définition scientifique du risque inclut une double dimension : celle des aléas et celle des pertes, toutes deux probabilisées. En conséquence, un risque se caractérise par deux composantes : le niveau de danger (probabilité d'occurrence d'un événement donné et intensité de l'aléa); et la gravité des effets ou des conséquences de l'événement supposé pouvoir se produire sur les enjeux.

On trouve cependant deux définitions assez différentes dans la normalisation internationale des risques :

1. « la combinaison de la probabilité d'un événement et de ses conséquences » ;
2. « la combinaison de la probabilité d'un dommage et de sa gravité ».

Risque technologique

Le risque industriel se caractérise par un accident se produisant sur un système technique et pouvant entraîner des conséquences graves pour le personnel, les populations, les biens, l'environnement ou le milieu naturel. On parle de risque industriel quand c'est une installation industrielle qui est affectée (usine chimique, centrale de production d'énergie).