

# PRISE EN COMPTE DES RISQUES DANS LES CHOIX DES MAÎTRES D'OUVRAGE PUBLICS EN EUROPE DANS LE DOMAINE DE LA ROUTE

M. PRAT

Sétra, Ministère de l'Équipement, France

[direction.setra@equipement.gouv.fr](mailto:direction.setra@equipement.gouv.fr)

& D. DAVI

Cete Méditerranée, Ministère de l'Équipement, France

[denis.davi@equipement.gouv.fr](mailto:denis.davi@equipement.gouv.fr)

## RESUME

La logique développée dans la réglementation européenne peut tenir en deux mots: exigences et performance. L'Europe a affiché cette volonté dès 1976 dans son guide à l'intention des Maîtres d'ouvrage et des Maîtres d'œuvre. Les six exigences essentielles de cette nouvelle donne obligent en effet les Maîtres d'ouvrage à prendre des décisions par référence à des notions de risque et de développement durable et à mesurer les conséquences socio-économiques et juridiques de l'expression de la commande. La normalisation passe d'une logique descriptive à une logique performantielle et les choix sont faits en termes de résultats plutôt que de moyens. L'ouverture du marché européen et l'application d'un principe de performance identique pour tous les pays ont conduit à opter pour un référentiel technique commun, représentatif, cohérent : les eurocodes. C'est la base scientifique opérationnelle la mieux partagée et la plus actuelle en Europe. Elle apporte une présomption de preuve de la qualité d'un ouvrage par rapport au marquage CE. Mais, les eurocodes sont plus que de simples règles. Ils fourmillent d'informations opposables permettant d'approuver un programme d'ouvrage. Dans cet article, nous analysons principalement les points des eurocodes qui ont un rapport aux risques, intéressant la maîtrise d'ouvrage.

## 1. INTRODUCTION

La première partie (assez succincte) rappelle le cadre juridique général et les obligations des Maîtres d'ouvrage en France. Elle précise les étapes clés de l'élaboration d'un projet pour lequel le Maître d'ouvrage doit faire des choix. A-t-il besoin de s'adjoindre un Maître d'œuvre, un assistant ? Au-delà des aspects juridiques, y a-t-il lieu de valoriser les protagonistes de l'innovation ? Cette partie donne donc quelques repères sur les modalités de prise en compte des options liées aux risques et sur leurs conséquences organisationnelles et techniques.

La deuxième partie, s'appuyant sur les plus récents développements normatifs du génie civil, les eurocodes, propose une lecture des textes de façon à répondre aux six exigences essentielles des directives. Quelle articulation de ces textes ? Bien sûr, il n'est pas question d'expliquer le contenu des eurocodes qui ont été établis par les meilleurs experts européens, mais de présenter l'esprit de ces règles et surtout leur impact sur les choix en amont du projet. Cette deuxième partie est elle-même subdivisée en deux sous-parties :

- un premier volet qui traite des risques vis-à-vis d'une action particulière (feu, choc, explosion...);
- un deuxième volet qui traite des risques spécifiques à l'interaction dynamique sol-ouvrage (en relation avec les séismes).

Un tableau de synthèse (non exhaustif) rassemble, pour conclure, quelques idées-forces pour aider à la prise en compte des risques dans les choix des Maîtres d'ouvrage, dans le domaine des infrastructures routières.

## **2. « UNE CERTAINE IDÉE DE L'EUROPE »**

### 2.1. Les six exigences essentielles

C'est la directive européenne sur les Produits de Construction qui a concrètement lancé l'ouverture du marché unique de génie civil en 1989. En imposant le marquage CE sur les produits destinés à être incorporés dans les ouvrages, les Etats Membres de l'Union Européenne s'assurent de la conformité de ces ouvrages à des exigences de base, dites "exigences essentielles", au nombre de six : la résistance mécanique et la stabilité des ouvrages ; la sécurité en cas d'incendie ; l'hygiène, la santé et l'environnement ; la sécurité d'utilisation ; la protection contre le bruit ; les économies d'énergie.

Les acteurs du génie civil concernés sont bien sûr les fabricants et les distributeurs, mais aussi les Maîtres d'ouvrage, Maîtres d'œuvre et entrepreneurs. Ainsi, un Maître d'ouvrage n'a plus le droit d'accepter un produit non marqué CE sur ses ouvrages ; a fortiori, il ne peut les imposer dans un cahier des charges sans justification.

### 2.2. Une adaptation française des directives

En 1992 et 1993, les directives européennes de services et de travaux ont été intégrées, en France, dans les différentes versions successives du code des marchés publics. La version du Code des marchés publics 2006 prend en compte une adaptation française des directives unifiées n° 2004/17/CE et 2004/18/CE. Les spécifications techniques imposées par les pouvoirs adjudicateurs lors d'une consultation, en bref le cahier des charges techniques, doivent être conformes aux règles communes afin que ces prescriptions ne constituent pas une entrave à la concurrence.

La loi MOP, toujours côté français, définit le rôle du Maître d'ouvrage dans le processus d'une réalisation d'ouvrages neufs ou de réhabilitation. Elle définit aussi l'organisation et le contenu minimum imposé de chaque élément de mission, ainsi que les conditions d'élaboration du contrat de maîtrise d'œuvre. Les dispositions de l'article 2 du titre Ier de cette loi concernent plus particulièrement les obligations de la maîtrise d'ouvrage. Le Maître d'ouvrage doit avoir défini un programme et une enveloppe financière prévisionnelle avant de commencer les études d'avant-projet.

### 2.3. Les responsabilités du Maître d'ouvrage en France

Le Maître d'ouvrage est une personne morale dont les missions sont en général exercées par un collectif, "la maîtrise d'ouvrage", et dont les responsabilités reposent à titre individuel sur les représentants désignés.

Outre les responsabilités de la qualité et de la communication que nous n'aborderons pas ici, le Maître d'ouvrage est surtout responsable de la sécurité pendant toute la vie de l'ouvrage : de sa programmation à sa construction et durant toute la durée de l'exploitation. En phase de construction, l'entreprise a bien sûr sa part de responsabilité, mais le Maître d'ouvrage aussi, par l'intermédiaire ou non d'un Maître d'œuvre externe dans le cadre d'un contrat spécifique. La responsabilité du Maître d'ouvrage est appréciée en fonction de ses connaissances techniques et juridiques vis-à-vis des autres intervenants de l'acte de construire.

C'est le Maître d'ouvrage (Loi 93-1418 du 31 décembre 1993) qui désigne et suit le marché du coordonnateur en matière de sécurité et de protection de la santé pour la phase de conception et de réalisation. Lors de la conception, les résultats des études du coordonnateur doivent être disponibles lors de la mission d'avant-projet conformément aux dispositions du point 2 de l'annexe III de l'arrêté du 21 décembre 1993 précisant les modalités techniques d'exécution des éléments de mission de maîtrise d'œuvre confiés par des Maîtres d'ouvrages publics à des prestataires de droit privé (JO du 13/12/93).

Le Maître de l'ouvrage doit approuver un Plan Général de Coordination (PGC) en matière de sécurité et de protection de la santé au cours de la conception. Ce document est joint au dossier de consultation des entreprises travaux. Il doit également s'assurer que ce plan est respecté lors de la réalisation de l'ouvrage. Cette mission est étendue aux opérations postérieures à la mise en service de l'ouvrage, où il s'agit de s'assurer que l'exploitation, la surveillance et l'entretien de l'ouvrage pourront être réalisés dans le respect des règles de sécurité.

En phase d'exploitation, le Maître d'ouvrage est concerné par les hypothèses de risques (risques naturels et technologiques, tempêtes, inondations, incendie, chocs, etc.) qui ont été prises en compte pour le dimensionnement de l'ouvrage en fonction des données figurant au programme. Il n'est pas prévu d'orienter le choix de ces paramètres dans les nouvelles règles européennes du génie civil contrairement aux anciennes pratiques françaises. Le secteur réglementé au niveau national reste limité actuellement au risque sismique et à la prise en compte de l'incendie. Le choix de ces paramètres relève donc de la maîtrise d'ouvrage et ne peut être délégué au Maître d'œuvre.

Le Maître d'ouvrage doit également veiller à la sécurité des usagers, des riverains et des agents de maintenance. Dans le cas des ponts, il faut notamment penser à la sécurité des usagers des voies ou autres équipements franchis. La SNCF a rédigé un cadre de notice de sécurité pour les voies ferroviaires qui doit être intégré au programme d'exécution des ouvrages dans leur voisinage. Ce principe pourrait à juste titre être repris pour les voies routières à trafic important.

En résumé, les responsabilités de la maîtrise d'ouvrage se déclinent donc selon les trois thèmes : sécurité, qualité et communication. Par rapport à notre culture française, ces responsabilités sont renforcées par le contexte européen pour deux raisons essentielles :

- l'Europe privilégie la notion de contrat à celle des textes juridiques épars et/ou des fascicules du CCTG - le concept de maîtrise d'œuvre restant une exception française ;
- enfin, l'évolution de la société et la forte demande de démocratie sociale renforcent par ailleurs les responsabilités délictuelles des Maîtres d'ouvrage.

### 3. PRISE EN COMPTE DES RISQUES DANS LES CHOIX DES MAÎTRES D'OUVRAGE

#### 3.1. Un nouveau référentiel technique européen

L'ouverture du marché unique n'aurait pas été possible sans l'établissement d'un socle unique de normes et/ou de règles sur la résistance structurale. C'est l'objectif des eurocodes, normes européennes de calcul des ouvrages de génie civil et de bâtiment. La première directive européenne sur les marchés publics de travaux (datée du 26 juillet 1971 n°71/305/CEE ) est à l'origine des eurocodes. La volonté affichée était de permettre l'ouverture du marché européen à tous les entrepreneurs et bureaux d'études de la Communauté. Le principe de reconnaissance mutuelle mis en avant interdisait donc à un Maître d'ouvrage public de refuser une proposition d'offre au motif qu'elle était établie sur la base de la réglementation d'un autre Etat membre. Pour lever cette difficulté, il fallait donc opter pour un référentiel commun, représentatif, cohérent, ne favorisant aucun secteur de la construction (matériaux, produits), et si possible, bénéficiant des connaissances les plus actuelles.

#### 3.2. Exigence et performance, fondements des eurocodes

La logique de la réglementation européenne dans le domaine du génie civil peut tenir en deux mots: exigence et performance. L'Europe a affiché cette volonté dès 1976 dans son guide à l'intention des Maîtres d'ouvrage et des Maîtres d'œuvre. Les six exigences essentielles, déjà évoquées, obligent les Maîtres d'ouvrage publics à se préoccuper en priorité des risques encourus du fait des ouvrages à réaliser et de la protection des personnes et de l'environnement (l'eau, l'air, la faune, etc.). Des documents interprétatifs ont été établis par la Commission après avis du Comité permanent. Ils étaient disponibles au JOCE du 28 février 1994 sous la référence 94/C 62/01.

Les eurocodes représentent un ensemble de 58 normes européennes qui décrivent les méthodes de calcul utilisables pour vérifier la stabilité et le dimensionnement des ouvrages. Ils permettent :

- de parler le même langage dans l'expression des contrats et des marchés d'ingénierie et de travaux ;
- d'établir un lien entre l'ouvrage et l'ensemble des produits qui le composent, en cohérence avec le marquage CE de ces produits ;
- de vérifier la conformité des projets vis-à-vis des exigences de stabilité, de résistance mécanique et de sécurité en cas d'incendie.

Les eurocodes ne concernent que les ouvrages neufs ; ils ne sont pas adaptés aux études de réparation. Concrètement, les textes européens sont assortis d'annexes nationales qui permettent d'adapter les paramètres de conception – ils sont minoritaires - laissés à l'appréciation des Etats membres, de façon à tenir compte de spécificités culturelles, climatiques ou géographiques.

A l'origine, les eurocodes sont des normes européennes volontaires, mais de fait, ils deviendront incontournables en Europe pour trois raisons essentielles:

- un Maître d'ouvrage public ne peut refuser une offre comportant une solution conçue avec les eurocodes, même si sa commande est rédigée avec une réglementation locale,
- les programmes scolaires ne connaissent maintenant que les eurocodes,
- les vieux règlements ne sont plus réactualisés et ne permettent pas de couvrir des solutions innovantes.

#### 3.3. Les eurocodes, *écrits* pour les Maîtres d'ouvrage

Rappelons en préalable que les eurocodes sont l'expression d'une cohérence scientifique et d'une homogénéité d'écriture que ne possédaient pas certaines anciennes réglementations. De plus, ils sont ouverts. Ils permettent en effet de conduire un dimensionnement assisté par l'expérimentation, par exemple pour définir de nouvelles charges ou pour utiliser des matériaux innovants. C'est la base scientifique et opérationnelle à laquelle il convient de se référer pour être en mesure de donner la preuve de la qualité de la conception d'un ouvrage et de sa cohérence par rapport au marquage CE des éléments.

Cependant, les eurocodes n'anticipent pas sur les décisions de maîtrise d'ouvrage ; par exemple, ils ne fixent pas d'hypothèses de risque et s'en tiennent à donner les méthodes pour les prendre en compte dans la conception. Autrement dit, les eurocodes ne permettent pas aux Maîtres d'ouvrage de se reposer entièrement sur les experts. Ainsi, il est parfois difficile de distinguer dans les eurocodes, par exemple les parties de codes de calcul pur (parties extrêmement techniques plutôt réservées aux spécialistes) et les parties de textes plutôt chargées de sens pour le Maître d'ouvrage, rédigées dans l'esprit des directives et des exigences essentielles.

Pour en faire la démonstration, il suffit de faire un "état des lieux" des articles des eurocodes concernant la "Maîtrise d'ouvrage". Cet état des lieux reste très succinct en regard des possibilités d'analyse offertes. Il ne nous appartient pas ici de faire un travail exhaustif de repérage des articles (souvent disséminés au milieu de parties techniques des eurocodes) pouvant intéresser le Maître d'ouvrage. Mais ce travail est entrepris au Sétra, dans le cadre de l'écriture d'un véritable Guide sur la Maîtrise d'ouvrage. Nous allons ici limiter l'exercice et distinguer deux types de risques :

- les risques vis-à-vis d'une action particulière :
  - EN 1990 : Bases de conception ;
  - EN 1991-1-2 : Structures exposées au feu ;
  - EN 1991-1-7 : Actions accidentelles dues aux chocs et aux explosions ;
- les risques spécifiques à l'interaction dynamique sol-ouvrage :
  - EN 1997 : Ouvrages de géotechnique ;
  - EN 1998 : Ouvrages en zone sismique.

### 3.4. Les risques vis-à-vis d'une action particulière

#### 3.4.1. Les bases de la conception

L'eurocode EN 1990 intitulé "Bases du projet" pourrait être aussi appelé "Bases techniques du programme d'ouvrage". Le texte définit des notions très générales.

Les exigences de base : dans sa section 2, l'eurocode 0 développe des principes d'exigences assez généralistes selon lesquels l'ouvrage doit rester, pendant sa durée de vie ou de service, incluant bien sûr la période de réalisation de l'ouvrage, à un niveau de fiabilité en adéquation avec sa finalité et son usage. Déjà à ce stade, il est question de résistance structurale, d'aptitude au service et de durabilité. Ces notions font certes appel à des chapitres précis de la technique, mais il n'en demeure pas moins qu'elles engagent fortement la responsabilité du Maître d'ouvrage, contrairement à une responsabilité partagée entre tous les acteurs de l'acte de construire comme précédemment. Dire qu'une structure doit être conçue et dimensionnée pour assurer un niveau de fiabilité requis crée des obligations, non seulement pour choisir les matériaux et les structures, mais aussi pour choisir les équipes qui vont étudier et réaliser la construction, avec des implications fortes sur le coût de l'opération.

Il nous faut insister ici sur la notion de durée de vie. Le Maître d'ouvrage fait construire et garde la paternité juridique de la structure tout au long de sa durée de vie. Ce n'est pas une notion nouvelle, mais c'est la première fois que cette idée prend forme avec des spécifications quantifiées dans des règles de dimensionnement en France. Ceci bouleverse la logique de l'acte de construire, c'est "construire pour durer". Le programme de l'ouvrage doit donc être cohérent et prévoir la traçabilité de l'acte de construction.

Un autre principe important, qui sera rediscuté par la suite, oblige le Maître d'ouvrage à réaliser (c'est le Maître d'œuvre qui doit concevoir) une structure pouvant résister de façon proportionnée à des événements comme les explosions, les chocs de toute nature ou les conséquences d'erreurs humaines. Il s'agit par conséquent de faire une analyse des risques potentiels et d'adapter les choix (résistances, dispositions constructives, contrôles) :

- pour réduire les dangers ;
- pour minimiser les conséquences dommageables suite à un désordre plus ou moins localisé ;
- pour éviter les effondrements sans signe précurseur.

La gestion de la fiabilité : le projet doit être examiné par référence à un corpus, le plus actuel possible, de connaissances et de bonnes pratiques. Les niveaux de fiabilité sont définis en considérant :

- les risques pour les biens matériels et immatériels et les personnes ;
- la prévention et ses aspects économiques ;
- le degré d'aversion de la société vis-à-vis d'une défaillance. Ce paramètre sociétal est important et change d'un pays à l'autre, parfois même d'une région à l'autre.

Ces niveaux concernent en général le fonctionnement de l'ouvrage globalement ou localement, en cours d'exécution ou en service. La fiabilité exigée peut être atteinte en mettant en œuvre les mesures ou "moyens" appropriés de protection et de prévention (choix d'un type de barrière de sécurité, d'une peinture spéciale contre la corrosion, etc.).

Des classes de conséquences sont proposées qui tiennent compte des conséquences de désordre ou de mauvais fonctionnement. La classification de l'eurocode permet de différencier la fiabilité en termes de conséquence sur la perte en vie humaine, en termes de conséquences économiques, sociale ou environnementale et en termes de type de structures.

Durée d'utilisation de projet : pour un projet donné, la durée d'utilisation de l'ouvrage doit être spécifiée par le Maître d'ouvrage et c'est nouveau. Cette durée de vie servira entre autres à définir des performances dépendantes du temps, c'est le cas par exemple du phénomène mécanique de fatigue sur les ponts métalliques. Un tableau donnant les durées indicatives de projet en années figure dans l'eurocode.

Durabilité : Un ouvrage donné, soumis à l'épreuve du temps, ne doit pas voir ses performances descendre en dessous d'un niveau escompté pendant toute sa durée d'utilisation. La durabilité d'un ouvrage dépend de nombreux facteurs, qui doivent être identifiés au stade du projet. Par exemple :

- la finalité de la structure ;
- les qualités des structures et des matériaux ;
- le contexte environnemental, y compris les aspects géotechniques ;
- le niveau de maintenance.

autant de choix qui conditionnent le comportement de l'ouvrage dans le temps.

Le fait d'introduire des critères de durabilité dans les prescriptions est aussi tout à fait nouveau. Il engage le Maître d'ouvrage au-delà de la durée de construction de l'ouvrage. Enfin, il doit rappeler au Maître d'œuvre de respecter cette cohérence dans toute demande éventuelle de réparation ou de mise en conformité pendant la construction.

La gestion de la qualité : Au stade du projet, toutes les mesures relatives à la gestion de la qualité, visant principalement à éliminer les désordres dues à des erreurs grossières et à garantir les résistances attendues, seront prises, notamment en termes d'organisation et de contrôles. En France, la NF EN ISO 9001 (X 50-131) (Systèmes de management de la qualité – Exigences, de décembre 2000) peut servir de base à l'établissement des documents correspondants.

L'eurocode propose une différenciation de la supervision de projet consistant en différentes mesures de type organisationnel de maîtrise de la qualité. Trois niveaux de supervision sont proposés liés à la classe de fiabilité déjà évoquée et aux types d'exigences recommandées pour le contrôle : contrôle par tierce partie, auto-contrôle, etc.

Dans sa section 4, l'eurocode aborde un certain nombre de points qui permettent au Maître d'ouvrage d'éclairer ses choix et de prendre des décisions allant dans le sens d'une meilleure qualité des composants d'ouvrage. Outre la définition des actions (y compris accidentelles) et surtout des niveaux d'action, par exemple, pour un pont ou une route, il peut s'agir du choix des classes de trafic, le Maître d'ouvrage doit se donner également les moyens de connaître principalement :

- les influences de l'environnement susceptibles de diminuer la performance des ouvrages ou de certains détails ;
- les propriétés des matériaux et des produits. Par exemple, le Maître d'ouvrage ne doit pas négliger de prévoir des campagnes de sondage (sol et roche) et/ou d'essais (béton) pour être en mesure de faire établir, à partir de données statistiques, des valeurs caractéristiques des propriétés des matériaux ou des produits. Dans cet esprit, l'annexe D de l'eurocode 0 traite du dimensionnement assisté par l'expérimentation. Cette annexe a été introduite, et cela mérite d'être signalé, pour servir de base à des études innovantes. Le cadre souvent rigide des normes a été plusieurs fois discuté. Ici, le Maître d'ouvrage trouve la possibilité d'ouvrir le champ applicatif des eurocodes à des matériaux innovants, sous réserve bien sûr d'apporter toutes les garanties en termes d'exigences.

### *3.4.2. Structures exposées au feu*

Ces structures sont étudiées dans l'eurocode EN 1991-1-2. Si la sécurité incendie est fondamentale dans le domaine des bâtiments, la tenue au feu des ponts n'en demeure pas moins importante. Bien sûr, les ponts ne sont pas considérés comme des bâtiments ouverts au public. Toutefois, nombreuses peuvent être les causes d'un départ de feu sur ou sous une chaussée (poids lourd citerne en difficulté ou ayant chuté, choc accidentel entre véhicules, explosion d'un camion transportant des matières dangereuses, etc.), susceptibles d'entraîner des désordres irréversibles et peut-être une détérioration locale ou globale pouvant causer un effondrement. Il s'agit donc au stade du projet d'anticiper les conséquences d'un incendie et d'être en mesure de déduire les mécanismes de rupture d'une structure soumise à certains types de feu. Le Maître d'ouvrage doit avoir à l'esprit que l'étude de l'action du feu sur une structure porteuse requiert une expertise extrêmement pointue. Les choix relatifs à ces questions (choix techniques, choix financiers) sont donc déterminants.

L'eurocode (EN 1991-1-2) donne des informations techniques sur ces points : nécessité de faire une analyse structurale au feu en sélectionnant des scénarios adaptés pour obtenir des valeurs de feux à partir desquelles le comportement mécanique des éléments de structure et la formation des mécanismes pourront être valablement étudiés et anticipés.

Une évaluation des risques d'incendie s'avère indispensable, même pour les ponts, afin de préciser les situations à risques, sans oublier l'impact des actions thermiques sur les propriétés mécaniques des matériaux (écaillage du béton). En effet, si le risque est fort, un type de matériau, considéré comme moins fragile au feu, peut s'imposer par rapport à un autre. Il y a aussi des types de structure plus robustes en cas de feu que d'autres.

Les choix correspondants peuvent remettre en cause des solutions architecturales et ces décisions de choix de conception interviennent au stade de la maîtrise d'ouvrage. D'une manière générale, ces risques sont à rattacher au concept de sécurité globale de l'ouvrage.

### *3.4.3. Actions accidentelles dues aux chocs et aux explosions*

L'eurocode EN 1991-1-7 traite des actions accidentelles dues aux chocs et aux explosions. Il introduit également des notions de robustesse des ouvrages, principalement pour les bâtiments et d'analyse de risque. Plus particulièrement, dans sa section 3, cet eurocode définit des situations de projet et décrit, vis-à-vis d'actions accidentelles identifiées ou non, les stratégies de limitation de la propagation d'une défaillance à l'ensemble d'une structure.

Ces stratégies mettent l'accent sur des mesures directes liées :

- non seulement à une prévention active, par exemple, la protection d'une pile quand cette dernière est indispensable, au moyen de "bollard" et d'une glissière ou le renforcement de cette pile suite à l'étude fine de la stabilité et de la capacité portante du fût soumis à un choc,
- mais aussi à une prévention passive, par exemple, lors de la conception d'un pont, la suppression d'un appui intermédiaire avec renforcement du tablier ou changement du type de pont donc en faisant un choix de structure ou de matériau, peut-être moins économique, ou l'aménagement d'espace entre la pile et l'axe de la voie (problème d'emprise).

Ces stratégies, comme dans le cas du feu, peuvent avoir une incidence indirecte sur les définitions structurales ou sur le choix de matériaux (ou des assemblages) :

- redondance renforcée des dispositifs de reports de charges (faire en sorte que le tablier d'un pont ne s'écroule pas, suite à la rupture d'une pile lors d'un choc de poids lourd) ;
- protection de piles de ponts pour éviter les chocs de bateaux (gabions du bouclier de protection de la pile nord du pont de Normandie, calculés sous l'action d'un tanker subissant une avarie de moteur et de gouvernail) ;
- dispositions particulières pour prescrire des éléments d'intégrité ou de ductilité : choix d'une structure souple qui "plie mais ne rompt pas" ou inversement, mise en œuvre de chaînages tridimensionnels pour renforcer la robustesse.

Nous voyons que dans le domaine des ponts, les choix techniques initiaux, donc le coût des ouvrages, peuvent être guidés par des considérations simplement liées à la sécurité. Ces choix peuvent et doivent être remis en cause si des solutions apportent de meilleures garanties.

Concevoir, construire, voilà des actions qui ne peuvent plus être envisagées sans faire référence à l'analyse des risques. La maîtrise des risques devient une science, au même titre que la science des structures et des matériaux. Il s'agit sans doute d'un «saut technologique». La considération des conséquences d'un accident, comme nouveau paramètre lors de la conception des ouvrages devrait changer non seulement la nature du projet, mais aussi son coût. Mais ce sera alors le prix, non pas à payer, mais plutôt le prix à ne plus payer, celui des accidents...

Un exemple très simple : une pile de pont ne peut plus être calculée pour résister dans tous les cas. Au contraire, dans certains cas, il peut s'avérer utile que cette pile puisse s'effacer (sans effondrement du pont) devant un train déraillé par exemple ou un poids lourd en perte de contrôle... Les cas de déraillement de train en amont des ouvrages sont certes peu fréquents, mais ils peuvent être dévastateurs. Les dangers inhérents à de tels chocs ne doivent donc pas être négligés.

Généralement le risque majeur lié à toute collision de train tourne autour des dommages aux personnes circulant à bord du train. Les conséquences peuvent être très graves et dans ce domaine les recommandations européennes et internationales proposent des méthodologies d'évaluation de risques visant notamment à réduire le nombre des victimes. Or la présence d'appuis dans les zones d'aiguillages aggrave le risque pour les personnes dans le train. Ces considérations, montrent bien que la décision d'implanter des appuis dans certaines zones n'est pas simple. La modulation de l'espace libre sous le pont agit directement sur le type de pont à construire et sur les choix du Maître d'ouvrage.

Il nous faut à présent parler de ce point plus délicat à appréhender, celui de la perception des accidents par le public et les médias, nous parlons alors de risques perçus. Le domaine ferroviaire est par exemple en avance dans ce domaine. Il préconise tout un ensemble de dispositions à mettre en œuvre pour éviter les déraillements de trains à proximité des ouvrages (bâtiments, quais de gare et ponts), qui, lorsqu'ils arrivent, peuvent avoir des effets très négatifs en termes d'image. Dans le domaine routier, des effets négatifs peuvent également être consécutifs à des fermetures de tronçons d'autoroute, des évacuations de population, en cas d'accidents graves.

Les conséquences des accidents ne doivent donc pas être évaluées uniquement sous l'angle technique (tenue d'un ouvrage), mais aussi sous l'angle socio-économique, voire politique (gêne aux usagers, dangers pour les populations riveraines). Les risques sont de plus en plus au centre du projet d'ouvrage.

L'annexe B (informatrice) de cet eurocode donne des informations sur l'évaluation des risques. En réalité, cette annexe, écrite tardivement, devrait figurer ultérieurement dans les bases du projet (EN 1990). Elle aborde des sujets qui se retrouveront dans les annexes nationales fixant des règles à l'échelon national. On trouve en particulier un aperçu général d'une analyse de risque (analyse qualitative et quantitative), des informations sur l'acceptation du risque et sur les mesures d'atténuation, ainsi que des données d'application par domaine (trafic routier, trafic ferroviaire)...

### 3.5. Les risques spécifiques à l'interaction dynamique sol-ouvrage

#### 3.5.1. Les ouvrages de géotechnique

Nous avons vu l'importance des choix géotechniques dans l'élaboration du programme d'ouvrage. L'eurocode EN 1997 sur les "Bases du projet en géotechnique" est donc très

utile au Maître d'ouvrage, tout du moins dans les échanges qu'il sera amené à avoir lors d'une assistance maîtrise d'ouvrage sur ce point.

Rappelons que la spécificité de l'ouvrage d'art est le fait du sol (et/ou du sous-sol). Deux ponts identiques à cent mètres de distance ne sont pas les mêmes ponts puisqu'ils ne reposent pas sur le même sol. Les auteurs de cet eurocode ont d'ailleurs eu l'intelligence d'en tenir compte et de faire une grande place à des notions de maîtrise d'ouvrage. Par exemple : la définition des situations de projet, des notions de durabilité, mais aussi un chapitre sur les données géométriques (paramètres et investigations) et la supervision.

### *3.5.2. Les ouvrages en zone sismique*

La partie 1 de l'eurocode EN 1998 relative aux règles générales de conception parasismique et au dimensionnement des bâtiments fait plus de 220 pages. Elle traite des principes de dimensionnement des ouvrages considérés en fonction de leurs matériaux constitutifs (béton, acier, mixte béton-acier, bois, maçonnerie), mais donne aussi des conseils et recommandations sur les choix de conception des ouvrages pour limiter le risque sismique.

Contrairement aux cas évoqués précédemment, le niveau d'agressivité sismique ne peut généralement être défini indépendamment de la structure, car il est étroitement lié aux caractéristiques intrinsèques de cette dernière (périodes propres de vibration, coefficient d'amortissement, ductilité, etc.). Parmi les six exigences de base définies au §2.1, ce sont essentiellement celles relatives à la résistance mécanique et à la stabilité des ouvrages (ainsi que celle relative à la sécurité d'utilisation), qui sont visées ici. On notera néanmoins que dans le cas de certains ouvrages particuliers (par exemple les barrages ou les centrales nucléaires), l'exigence environnementale peut également revêtir un caractère essentiel. On voit ainsi que, en fonction de la destination (ou utilisation) des ouvrages, les exigences de performance à remplir pourront varier.

S'agissant des ponts ou des ouvrages de soutènement, il est par exemple souvent utile de privilégier certains axes routiers afin de préserver ces axes comme moyens d'acheminement des secours en cas de sinistre. On trouve, explicitées dans la partie 2 de l'eurocode 8 relative à la conception parasismique des ponts, les exigences de performance et les critères de conformité spécifiques à ce type de structures, à la fois au stade de la conception et au stade du dimensionnement. Des catégories d'importance sont par ailleurs définies, qui permettent de tenir compte du caractère plus ou moins stratégique des ouvrages dans la gestion de crise et la reprise de l'activité socio-économique de la région touchée. Ces différents points sont détaillés ci-après.

### a) Les grands principes de la conception parasismique

- Définition de l'aléa

Dans l'eurocode 8, l'aléa sismique vibratoire est défini de façon probabiliste par un niveau d'accélération du sol (substratum rocheux) associé à une période de retour. La valeur de la période de retour de référence conseillée est de 475 ans, ce qui correspond à une probabilité de dépassement inférieure à 20% pour une durée de vie moyenne de l'ouvrage de 100 ans. Cette valeur conseillée peut être ajustée en fonction des choix des puissances publiques nationales ou du maître d'ouvrage ainsi que de la destination de l'ouvrage (catégorie d'importance) ou encore de sa durée d'utilisation prévue. A l'aléa vibratoire défini par le niveau d'accélération du sol s'ajoutent les aléas relatifs aux effets induits tels que les ouvertures de failles tectoniques, la liquéfaction du sol, les glissements de terrain et chutes de blocs. Ces effets induits aux conséquences potentiellement catastrophiques sont directement liés au choix du site d'implantation de l'ouvrage et doivent être étudiés dès les premières phases de planification et études d'opportunité.

- Catégories d'importance et objectifs de performance associés

Les exigences de bases définies par l'eurocode 8-2 s'énoncent selon les termes suivants : « La démarche de dimensionnement est basée, en ce qui concerne la résistance sismique des ponts, sur l'exigence générale d'après laquelle les communications d'urgences doivent être maintenues, avec une fiabilité appropriée, après l'évènement sismique de calcul. » Ce principe se traduit vis-à-vis de l'évènement sismique ultime par des exigences de non-effondrement, de fonctionnalité d'urgence et de réparabilité et vis-à-vis d'un évènement sismique dit de service par une exigence de minimisation des dommages.

Trois catégories d'importance I, II et III des ouvrages sont par ailleurs définies, qui se traduisent par trois coefficients de pondération de l'accélération nominale dont les valeurs recommandées sont respectivement 0,85, 1,0 et 1,3. Ces coefficients d'importance permettent implicitement en fonction du caractère plus ou moins stratégique de l'ouvrage, d'augmenter ou d'abaisser la période de retour du séisme à prendre en compte, selon le principe décrit par la matrice de performance présentée par la エラー! 参照元が見つかりません。 ci-dessous.

		Niveau de performance sismique			
		Dégats minimes / Ouvrage quasi-intact	Fonctionnalité d'urgence / Réparabilité	Non-effondrement / Protection des usagers	Etat proche de la ruine
Niveau de séisme considéré	Fréquent (43 ans)		INACCEPTABLE	INACCEPTABLE	INACCEPTABLE
	Occasionnel (72 ans)			INACCEPTABLE	INACCEPTABLE
	Rare (475 ans)				INACCEPTABLE
	Exceptionnel (970 ans)				

Ouvrages peu importants  
Ouvrages normaux  
Ouvrages stratégiques

Figure 1 – Matrice de performance vis-à-vis de l'aléa sismique

- Choix de conception autorisés

En comparaison d'autres types d'aléas plus courants (trafic, vent, effets thermiques...), les exigences de base décrites précédemment et relatives au risque sismique apparaissent relativement permissives puisqu'il est question de non-effondrement, de fonctionnalité d'urgence et de réparabilité. Afin de répondre à ces exigences de base, l'eurocode 8-2 ouvre la porte à trois types de conceptions qui impliquent des méthodes d'analyse différentes, mais également des conséquences variables en termes de performance et de niveau d'endommagement sismique. Il s'agit respectivement des conceptions dites « élastique », « ductile » ou basée sur les principes d'isolation sismique et d'amortissement.

La conception élastique consiste à dimensionner la structure de telle façon que les matériaux constitutifs restent dans leur domaine élastique de comportement. Aucune réparation post-sismique n'est en principe à prévoir. Avantageuse dans les zones peu sismiques, cette première conception s'avère en revanche généralement d'un coût prohibitif dans les régions où le risque sismique est plus élevé.

La conception dite « ductile » consiste au contraire à autoriser des incursions dans le domaine plastique de comportement des matériaux dans certaines parties de l'ouvrage afin de dissiper de l'énergie et diminuer les niveaux d'efforts transmis au reste de la structure. Ces zones dissipatives doivent être choisies par le concepteur pour être facilement accessibles et réparables. Dans la plupart des cas, il s'agira de la partie inférieure des piles. Il convient de noter que contrairement à la conception précédente, un certain niveau d'endommagement est ici accepté, voire même recherché, qui optimise la réponse dynamique de la structure, mais peut conduire à des travaux de réparation non négligeables à la suite d'un tremblement de terre majeur.

Enfin, le troisième et dernier type de conception décrit dans l'eurocode 8-2, basé sur le principe d'isolation sismique et l'utilisation de dispositifs amortisseurs, combine les avantages des deux solutions précédentes : la quasi-totalité de l'énergie du tremblement de terre est absorbée dans des appareils mécaniques externes à la structure tandis que les éléments structurels de l'ouvrage ne subissent en théorie aucun dégât et les matériaux restent dans leur domaine élastique de comportement. En cas de séisme majeur, les dispositifs amortisseurs sont facilement inspectés et remplacés si nécessaire. En contrepartie, les calculs de dimensionnement sont très complexes et nécessitent des outils puissants (calculs dynamiques non-linéaires). Enfin, le coût important des dispositifs spéciaux réserve généralement leur utilisation aux zones où l'aléa sismique est très important ou aux ouvrages à risque spécial.

De coûts sensiblement différents, ces trois types de conception conduisent aussi à des comportements sous séisme bien distincts et il appartient donc au maître d'ouvrage, en fonction du contexte (sismicité, valeur attribuée à l'ouvrage, aspects stratégiques, organisation des secours) de trancher en faveur de l'une ou l'autre.

#### *b) Le rôle des puissances publiques nationales*

Les contextes naturels (notamment sismiques), environnementaux et socio-politique pouvant différer entre les différents pays de l'Union Européenne. Les eurocodes réservent, par le biais de leurs Annexes Nationales, une partie de la responsabilité des critères de performance et de dimensionnement aux puissances publiques nationales. Dans le cadre de l'eurocode 8 relatif aux aspects sismiques, il s'agira en particulier et de manière non exhaustive de :

- Définir le zonage sismique réglementaire sur le territoire national ;
- Caractériser l'action sismique sous forme de spectres ou d'accélérogrammes caractéristiques des conditions sismotectoniques et géologiques rencontrées sur le territoire ;
- Définir les période de retour de référence pour le dimensionnement des ponts ;
- Préciser les différentes catégories d'importance et les valeurs des coefficients d'importance associés ;
- Affiner les valeurs recommandées de certains coefficients de sécurités (coefficients matériaux, méthodes de calcul...) pour intégrer les pratiques et savoirs-faire nationaux courants.

### *c) Les responsabilités du maître d'ouvrage*

Nous avons vu lors des précédents chapitres que l'apparition des eurocodes augmentait de façon considérable le rôle et les responsabilités des maîtres d'ouvrages, et ce tout au long des différentes étapes de la vie des ouvrages, depuis les premières phases de planification et conception jusqu'au stade de l'exploitation et de la maintenance.

Ainsi, au cours de la phase de planification, le maître d'ouvrage doit définir la destination de l'ouvrage, c'est-à-dire sa catégorie d'importance et par conséquent le niveau d'aléa qu'il faut considérer en termes de période de retour. Il doit également choisir la meilleure implantation possible en fonction notamment des risques associés aux effets induits (liquéfaction, ruptures de failles, chutes de blocs, glissements de terrain...). A ce sujet, il convient de noter que c'est au maître d'ouvrage qu'incombe la responsabilité de définir et de caractériser au mieux les aléas au niveau du site d'implantation de l'ouvrage par des campagnes d'investigations appropriées de nature sismologique et géotechnique.

En phase de conception/dimensionnement, le maître d'ouvrage intervient d'une part comme cela a été vu précédemment sur le choix de la conception parasismique à adopter mais également sur le parti architectural et donc sur la régularité structurale de l'ouvrage dont on sait qu'elle influence de façon très significative son comportement dynamique et donc sa réponse aux sollicitations d'origine sismique. C'est également à lui qu'il revient de définir le statut à accorder aux annexes informatives dont certaines, en particulier l'annexe A relative à la prise en compte du séisme en phase de construction, peuvent avoir des conséquences financières non négligeables.

En phase d'exploitation, des campagnes de maintenance, de surveillance et d'entretien des ouvrages doivent être organisées régulièrement à l'initiative du maître d'ouvrage. Cette obligation revêt notamment un caractère essentiel dans le cas des ponts équipés de dispositifs spéciaux de type isolateurs ou amortisseurs parasismiques. Enfin, en cas d'évènement sismique majeur, il est encore une fois de la responsabilité du maître d'ouvrage de procéder à l'inspection des dommages éventuels sur l'ouvrage et de décider ou non de sa réouverture à la circulation.

## 4. CONCLUSION

Avec l'Europe, nous sommes entrés dans l'ère du résultat et de la performance. L'exigence de résultats obligeant à des moyens, *les eurocodes eux-mêmes* peuvent être présentés comme les moyens de la qualité des projets. Les eurocodes s'imposent donc aux Maîtres d'ouvrage dans un contexte d'analyse de risque et de prise en compte du développement durable. Le tableau ci-après établit un lien entre les exigences, au sens des exigences essentielles européennes, les choix et décisions de maîtrise d'ouvrage et les eurocodes sur lesquels s'appuyer.

<i>Exigences</i>	<i>Choix, décisions de maîtrise d'ouvrage</i>	<i>Eurocodes</i>
Qualité	Durée de vie Fiabilité (Classes de conséquences) Durabilité (Classes d'exposition et structurales) Robustesse	EN1990 EN1990 EN1990 EN1991-1-7
Sécurité	Analyse de risque Incendie Neige Vent Chocs, explosions Trafics normal et anormal Séisme	EN1991-1-7 EN1991-1-2 EN1991-1-3 EN1991-1-4 EN1991-1-7 EN1991-2 EN1998
Résistance	Stabilité des structures Sécurité d'utilisation	EN1992 à 8

Les Maîtres d'ouvrage ne peuvent plus se désintéresser de la problématique technique. Une inaction à cet égard pourrait avoir des conséquences en responsabilité.

Ces aspects techniques, qui peuvent commander les choix et les décisions du Maître d'ouvrage, peut-être la nature même des projets, sont inscrits dans les eurocodes. Force est de constater que ces textes représentent une base culturelle indéniable et une richesse pour la France et pour l'Europe.

## BIBLIOGRAPHIE

Maîtres d'ouvrages publics en Europe – Eléments de repères spécifiques aux ponts – Document provisoire diffusé dans le cadre du colloque "Maîtres d'ouvrages en Europe" – Sétra, 2006.

Guide à l'intention des Maîtres d'ouvrages publics pour la négociation des rémunérations de maîtrise d'œuvre juin 1994 – Mise à jour au 30 septembre 2002 – MIQCP.

Publication du JO du Sénat du 08/12/2005 – page 3188 – Maîtrise d'ouvrage et maîtrise d'œuvre en Ouvrages d'art DGUHC.

Missions d'assistance à décideur et Maître d'ouvrage (MTETM, Syntec-Ingénierie, AITF), septembre 2005.

Circulaire du 05/07/94 (JORF du 26/08/94) relative à la référence aux normes dans les marchés publics et les contrats soumis à certaines procédures communautaires. Les dispositions du nouvel article 6 du projet du nouveau Code des marchés publics 2006 prévoient un arrêté spécifique qui doit annuler cette circulaire pour la rendre compatible avec les modifications du décret 84-74 modifié.

Recommandation T1-99 aux Maîtres d'ouvrage publics, relative à l'utilisation des normes et des certifications dans les spécifications, et à l'appréciation des équivalences. GPEM Travaux / Direction des Affaires Juridiques Ministère de l'Economie, des Finances et de l'Industrie Revue de l'Achat Public n°6/99.