

Code	C001a
Intitulé	Introduction aux Eurocodes 0&1
Responsable	A. Chateauneuf
Équipe enseignante	A. Chateauneuf / E. Galittré
Durée	3 séances de 3h
Évaluation	-

## PRÉSENTATION

L'Eurocode 0 a pour objectif non seulement d'expliquer et de fixer les bases pour les autres Eurocodes, mais aussi d'offrir une alternative en spécifiant les objectifs et les exigences à satisfaire, indépendamment de la procédure permettant de les satisfaire.

La maîtrise de l'Eurocode 0 présente un intérêt majeur pour les ingénieurs, en offrant :

- la compréhension du sens des coefficients partiels employés dans les différents Eurocodes ;
- la capacité d'ouvrir le champ de l'innovation dans la construction, permettant ainsi de traiter des projets innovants ou des situations nouvelles ou particulières non couvertes dans les autres Eurocodes ;
- la possibilité d'analyser la sécurité des structures existantes, et de préconiser des solutions optimales de réhabilitation.

La richesse de cette norme fondamentale (EN 1990) ne se réduit pas à la seule notion de fiabilité, mais définit d'autres concepts nécessaires à l'application de tous les Eurocodes (durabilité, gestion de la qualité, situations, états limites, et bientôt robustesse).

La définition de ces termes est donnée dans ce cours, soit littéralement soit à partir d'exemples industriels concrets.

L'ensemble du texte de l'EC0 est couvert en développant les points les plus utiles tels que la déclinaison concrète des combinaisons d'actions pour les bâtiments dans le cas de la France : un exemple réel de tableau de combinaisons est présenté en cours.

## OBJECTIFS

Présenter les bases de la théorie de la fiabilité pour comprendre l'utilisation pratique des coefficients de sécurité partiels.

## CONTENU

### Cours

#### 1) Historique

- Approche probabiliste de la sécurité des constructions - Naissance du semi-probabilisme - Concepts fondamentaux de la fiabilité des constructions

#### 2) Notions de calcul des probabilités et des statistiques

- Caractéristiques élémentaires des variables aléatoires - Exemples de lois de probabilités - Systèmes variables aléatoires - Estimation des fractiles

#### 3) Étude des actions variables

- Observation des actions variables - Période de retour d'une valeur particulière et probabilité associée - Combinaison de deux actions variables

**4) Bases de la théorie de la fiabilité**

- Définitions – Méthode Résistance-Contrainte (indice de Rjanitzne-Cornell) - Cas général (indice de Hasofer-Lind)

**Applications**

L'application de ces différents concepts est décrite en préparant les élèves à deux familles bien distinctes de pratiques :

**1) Cas général de l'application dans le cadre de l'utilisation des coefficients partiels**

- Ici, le cours donne une démonstration simplifiée de la valeur de certains coefficients partiels affectés aux actions.
- Dans cette partie un lien explicite est fait entre la valeur cible du niveau de fiabilité et la valeur des coefficients partiels
- Cette partie précise également l'origine des incertitudes donnant lieu à ces coefficients, et notamment celles provenant de la « modélisation » trop souvent sous-estimées.

**Cas particulier de calcul explicite de la fiabilité d'une structure**

- Certaines applications industrielles requièrent un calcul explicite de fiabilité et deux cas se présentent alors :
  - Calculs par des méthodes analytiques reposant sur des hypothèses simplifiées vis-à-vis des lois de distribution des matériaux (distribution de type log-normal)
  - Calculs par des logiciels spécialisés s'accommodant d'un plus grand nombre d'hypothèses possibles (prise en compte de plusieurs lois de natures différentes dans un même calcul)
- Le cours donne les clefs de compréhension de l'utilisation pour les deux familles d'application en présentant de nombreux exemples de grandeurs décrites de manière probabiliste, que ce soit du côté des actions que du côté de la résistance
- Enfin la dernière séance est dédiée à la mise en application très concrète sur un exemple traité en séance avec implication réelle des élèves au tableau pour la résolution du problème posé : l'exemple traité est celui d'une dalle soumise à la flexion simple due aux charges gravitaires dont on évalue la probabilité de ruine. Toutes les formules analytiques ainsi que le processus d'intégration approché utilisés sont explicitées.

**COMPÉTENCES VISÉES****Bloc 4 : Effectuer les vérifications réglementaires**

Les compétences visées sont doubles :

- Utilisation parfaitement maîtrisée des Eurocodes vis-à-vis de l'application de la théorie des coefficients partiels et des autres concepts de base de l'EC0
- Connaissances minimales de la fiabilité pour des ingénieurs de génie civil n'ayant pas forcément à développer eux-mêmes des calculs de fiabilités mais devant en comprendre les principes fondamentaux et notamment les définitions.
- Compréhension de la notion de risque dans la construction, à travers l'évaluation du rôle des incertitudes dans la maîtrise de la sécurité pour les nouveaux projets et pour les ouvrages existants.

Ces compétences visées permettront à l'ingénieur d'appliquer le principe de « différenciation » de la fiabilité en fonction ces classes de conséquence des ouvrages, de façon pertinente, en déployant les concepts de base présentés dans l'EC0. Si de véritables calculs de fiabilités sont à opérer, la maîtrise des concepts de base présentés dans ce cours permettront à l'ingénieur de bien définir les

---

interfaces et hypothèses nécessaires à l'intervention d'un spécialiste (ayant lui-même suivi une formation plus spécialisée).

## PRÉREQUIS

Les prérequis sont ceux d'élèves ayant suivi le cursus « Classe préparatoire » + école d'ingénieur en Génie Civil, ou équivalent et donc avec une connaissance minimale des probabilités et de la RdM.

La maîtrise des fonctions mathématiques fondamentales est supposée totalement acquise (propriétés des fonctions logarithmiques, exponentielles, des lois de distribution normales, des méthodes d'intégration approchées...).

Par contre, la loi très utilisée lors d'applications simplifiées de fiabilité à savoir la loi « log-normale », n'est pas toujours abordée en école d'Ingénieurs ni en classe préparatoire : des rappels pratiques sont donc donnés en cours, pour une approche efficace, pragmatique et immédiate de la fiabilité pour des ingénieurs n'étant pas forcément destinés à se spécialiser dans les études de fiabilité.

La fiabilité faisant appel à des notions relativement avancées et spécialisées (indices de Rjanitzyn-Cornell et indice de Hasofer-Lind) une phase académique préliminaire est intégrée à ce cours pour les PRÉREQUIS soient limités à ceux précités.

La résistance des matériaux est donc supposée acquise vis-à-vis d'applications simples (flexion simple ou composée) ainsi que les calculs béton armé pour des applications simples.

Code	C001b
Intitulé	Calcul des actions
Responsable	P. Maitre
Équipe enseignante	P. Maître / F. Imberty/ D. Lecointre
Durée	5 séances de 3h
Évaluation	-

## PRÉSENTATION

L'évaluation des actions est indispensable pour la conception des structures. Les Eurocodes ne sont pas le premier code semi-probabiliste, mais aujourd'hui on ne peut plus être semi-probabiliste sans le savoir comme cela était le cas avec les précédents règlements.

## CONTENU

### Phase 1 : Actions sur les constructions

#### 1) Actions climatiques sur les constructions - Généralités

- Statut des actions climatiques dans l'Eurocode 0 - Sensibilité des ouvrages aux actions climatiques et impacts potentiels - Modalités de la codification des actions climatiques - Références normatives : parties de l'Eurocode 1 et annexes nationales associées.

#### 2) Charges de neige

- Paramètres influant la charge de neige au sol - Analyse statistique et charge de neige au sol de référence - Carte de neige européenne informative - Conditions particulières françaises pour l'analyse des charges de neige - Chutes de neige exceptionnelles - Carte de neige française - Variation de la charge en fonction de l'altitude - Domaine d'application de l'EN 1991-1-3
- Paramètres influant la charge sur la construction par rapport à la charge au sol - Coefficients de forme, thermique et d'exposition - Chutes ou accumulations exceptionnelles, situations de calcul correspondantes - Concomitance pluie neige en faible pente - Coefficients de forme pour les configurations courantes de bâtiments - Effets locaux d'accumulation - Configurations non traitées par la norme - Coefficients de combinaison

#### 3) Actions de la température

- Domaine d'application de la norme EN 1991-1-5 - Impact des variations de température sur les constructions - Valeurs de référence de la température extérieure, annexe nationale française - Températures intérieures des bâtiments, températures de surface des parois - Coefficients de dilatation thermique des matériaux.

#### 4) Actions du vent - Définition du vent de référence

- Généralités sur le phénomène naturel - Effets du vent sur les constructions et enjeux associés
- Mesures du vent in situ - Définition du vent de référence, vitesse moyenne et conditions de mesure - Élaboration des cartes de vent - Carte de vent des recommandations CECM, carte française - Coefficient de saison, coefficient de direction
- Modélisation du vent : vitesse moyenne et part fluctuante de la vitesse - Évolution de la vitesse moyenne en fonction de la hauteur ; influence de l'orographie - Formulation de la vitesse de pointe et de la pression de pointe en fonction du paramètre de rugosité de terrain
- Annexe nationale française - carte de vent, cartes pour les coefficients de saison et de direction - vent de référence en zones cycloniques - redéfinition des catégories de terrain et paramètres de rugosité - modalités d'analyse du terrain environnant la construction du point de vue de la rugosité - coefficients d'orographie pour les obstacles isolés et pour les configurations complexes

#### 5) Pressions et efforts de vent sur les constructions

- Domaine couvert par l'EN 1991-1-4 - : ouvrages, types de comportement dynamique - Organisation et plan de la norme

- Actions du vent sur les parois de bâtiments : pression et succion extérieures, pression et dépression dans le volume intérieur, frottement - Effet de dimensions, effet dynamique - Forces résultantes
- Coefficient structural : définition et formulation - Mode fondamental de vibration de la structure - Amortissement du mouvement - Échelle de la turbulence et dimensions de la construction - Abaques pour une détermination simple du coefficient structural
- Configurations de bâtiments traitées au chapitre 7 de la norme - zonage des parois et coefficients de pression extérieure associés - Coefficients de pression intérieure en fonction des ouvertures dans les parois
- Toitures isolées - Éléments prismatiques à section polygonale régulière - Structures en treillis - Configurations diverses
- Précisions et compléments apportés par les Recommandations de la Commission de Normalisation de la Construction Métallique et Mixte : décrochements en plan et en élévation - auvents accolés aux façades - toitures isolées - acrotères

## 6) **Simulation du vent en soufflerie - simulation numérique**

- Principes de la simulation en soufflerie : reproduction du vent naturel, vitesse moyenne et turbulence - construction et instrumentation des maquettes - mesures de pressions et des forces résultantes - exploitation informatique des mesures
- Avantages et inconvénients du recours aux essais en soufflerie - Exemples pratiques d'utilisation : stades, structures complexes, toitures métallo-textiles - prise en compte de l'environnement bâti et des incidences de vent - contrôle de la reproduction du vent - analyse des forces résultantes globales - cartographies des pressions maximales sur l'enveloppe - cumuls des effets par sous-ensembles structurels
- Simulations numériques des effets du vent : avantages et inconvénients par rapport aux essais en soufflerie - conditions d'emploi, limitations pratiques et statut dans le cadre de l'EN 1991-1-4

## 7) **Exemples d'application**

- Bâtiment industriel courant
- Bâtiment à étages

## Phase 2 : Actions sur les ponts et passerelles

### 1) **Classification des actions et situations de projet**

- Modèles de charges – Groupes de charges – Combinaisons avec les autres actions
- Domaine d'application – Découpage de la chaussée

### 2) **Actions du trafic et autres actions spécifiques sur les ponts routiers**

- Modèles de charges LM1 à LM4 – Bases de calibrage – Diffusion des charges concentrées – Exemples – Configurations à envisager – Méthode générale pour déterminer la configuration la plus défavorable – Surfaces d'influence – Abaques de Pücher
- Modèles pour les forces horizontales
- Groupes de charges - Autres actions dues au trafic – Actions accidentielles
- Modèles de charge de fatigue pour les ponts routes

### 3) **Actions sur les trottoirs, les pistes cyclables et les passerelles**

- Les modèles de base – Charge répartie, charge concentrée, véhicule de service
- Forces horizontales – Autres actions – Application à un pont-cadre.

### 4) **Actions du trafic et autres actions sur les ponts ferroviaires**

- Notations et dimensions spécifiques pour les voies ferrées – Modèle de charge LM71 – Relation avec la fiche UIC 776-1 – Choix du coefficient  $\alpha$  - Classification des lignes internationales – Modèles de charges LM SW/0 et SW/2 pour le trafic ferroviaire lourd. Répartition longitudinale et transversale des charges – Charges pour les remblais et poussées des terres – Modèles pour les lignes internationales à grande vitesse
- Coefficients dynamiques pour les trains – Forces centrifuges – Forces d'accélération et de freinage - Bases du calcul en fatigue – Limites de validité du modèle HSLM – Critères à vérifier si l'analyse

dynamique n'est pas exigée – Réponse combinée de la structure et de la voie – Charges en situation provisoire – Situations accidentnelles

**5) Actions accidentnelles**

- Chocs – Explosions internes – Stratégie vis-à-vis des actions accidentnelles identifiées – Limitation de la propagation de la défaillance à l'ensemble de la structure – Notion de robustesse – Utilisation des classes de conséquences
- Chocs de véhicules routiers : sur les piles de pont – sur les tabliers de pont
- Calculs dynamiques pour les chocs sur pile de pont
- Autres actions accidentnelles des véhicules sur les ponts
- Chocs de véhicules ferroviaires – Méthodologie UIC
- Chocs de bateaux
- Exemple de calcul d'un PS autoroutier
- Cas des bâtiments

**6) Actions en cours d'exécution**

- Particularités de l'EN 1991-1-6 – Actions en cours d'exécution – et de l'EN 1990-2 – Combinaisons appliquées aux ponts
- Situations de projet et états-limites – Charges de construction
- Charges de neige et charges de vent – Actions liées à l'eau
- Exemples
- Application à un fléau d'ouvrage d'art construit par encorbellement
- Application à un pont poussé

**COMPÉTENCES VISÉES****Bloc 3 : Analyser, concevoir et modéliser une structure**

En particulier , évaluation des actions.

**Bloc 4 : Effectuer les vérifications réglementaires**

En particulier, calculer les sollicitations en phase construction et de service

**PRÉREQUIS**

Connaissance de RDM de début d'année permettant d'anticiper l'effet des actions