

Journées techniques Ouvrages d'Art 2013

Dijon, Mercredi 05 et Jeudi 06 juin

Robustesse des ponts mixtes bipoutres

ALEAS

Sélection d'aléas et de scénarios d'endommagement des ponts de types bipoutres mixtes

Pierre Corfdir (DIR Est)
Jérémy Lemoine (DIR EST)
Fabien Renaudin (CETE Est)
Damien Champenoy (CETE Est)
Antoine Théodore (Sétra)
Vincent Eardeau (Sétra)



Réseau
Scientifique
et Technique

Sétra
Service d'études
sur les transports,
les routes et leurs
aménagement

IFSTTAR

Robustesse et Eurocodes



1.5.14

robustesse

aptitude d'une structure à résister à des événements tels que incendies, explosions, chocs ou conséquences d'une erreur humaine, sans présenter de dégâts disproportionnés à la cause d'origine

(4)P Une structure doit être conçue et exécutée de telle sorte qu'elle ne soit pas endommagée par des événements tels que :

- une explosion ;
- un choc ; et
- les conséquences d'erreurs humaines.

de façon disproportionnée par rapport à la cause initiale.

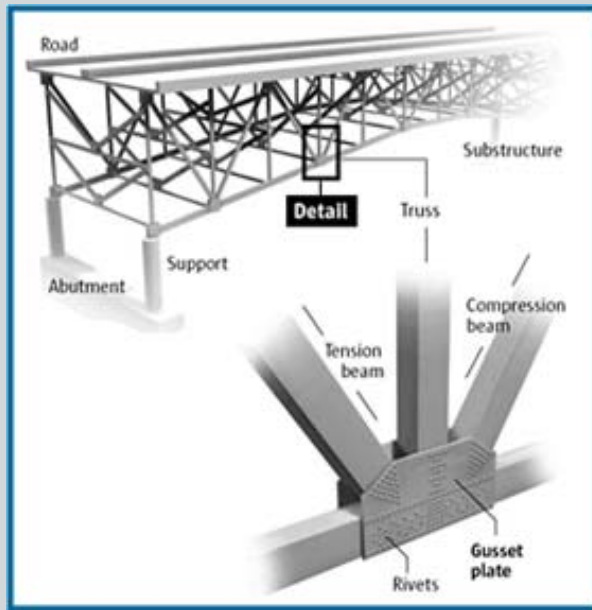
c) s'assurer que la structure présente une robustesse suffisante en adoptant l'une ou plusieurs des approches suivantes :

- 1) calculer certains composants de la structure sur lesquels repose la stabilité comme des éléments clefs (voir 1.5.10) pour augmenter les chances de survie de la structure après un événement accidentel.
- 2) concevoir les éléments structuraux et choisir les matériaux de façon à disposer d'une ductilité suffisante pour absorber une partie notable de l'énergie de déformation sans rupture.
- 3) introduire dans la structure suffisamment de redondance pour que, après un événement accidentel, le transfert des forces vers d'autres chemins de charge soit facilité.

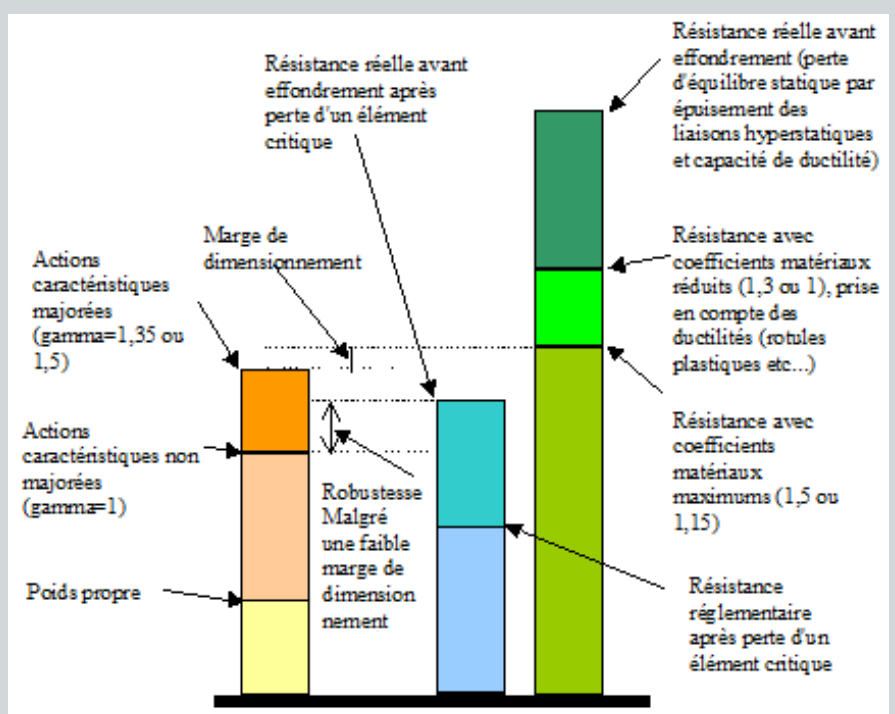
NOTE 1 Il peut arriver qu'il ne soit pas possible de protéger la structure en réduisant les effets d'une action accidentelle ou en empêchant sa survenance. En effet, une action dépend de facteurs qui, au cours de la durée d'utilisation de la structure prévue au projet, peuvent ne pas correspondre nécessairement aux hypothèses de calcul. Des mesures préventives peuvent comprendre une inspection et une maintenance périodiques pendant la durée d'utilisation prévue à la conception.



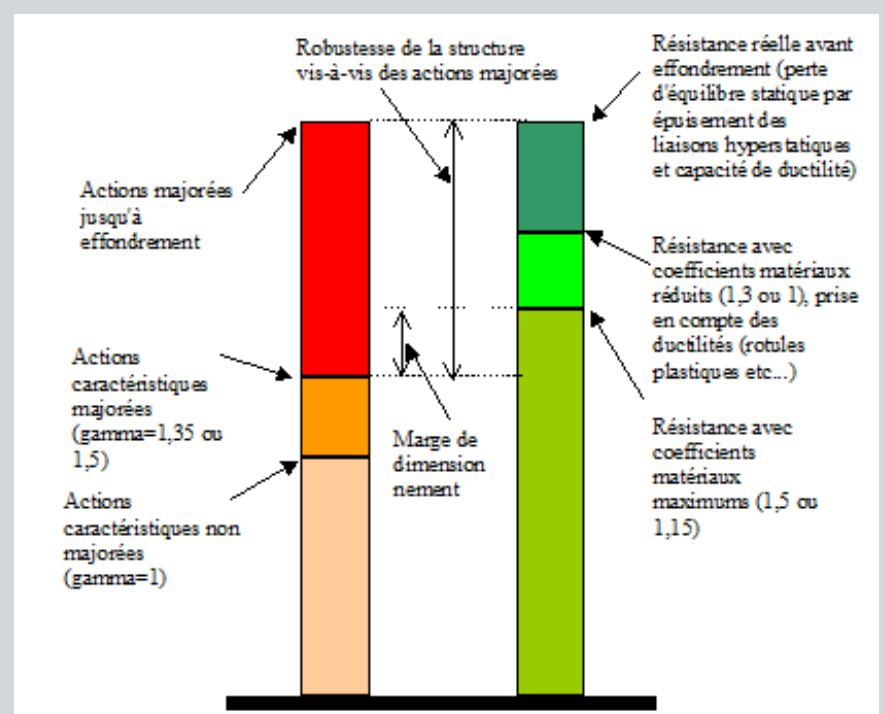
Robustesse des ouvrages d'art



Robustesse des ouvrages d'art



Robustesse vis-à-vis de pertes d'éléments
Structures robustes



Robustesse vis-à-vis d'actions majorées
Structures robustes

source guide maîtrise des risques Sétra



Objectifs



Cible : ouvrages de type bipoutres mixte

Évaluation des ouvrages existants

Principes de reconfiguration pour améliorer la robustesse

Formalisation du concept de robustesse pour la conception des ouvrages neufs



Démarche



Analyse qualitative

Cartographie des aléas

Analyse des cas de ruines

Identifications des éléments vulnérables

Analyse détaillée

Recherche de scénarios représentatifs

Modélisation



Le système étudié : le bipoutre mixte

- Le système étudié peut être plus ou moins étendu :
 - le pont lui même,
 - le franchissement au sens large qui peut comprendre plusieurs ponts
 - l'itinéraire qui peut comprendre plusieurs franchissements.
- Les premiers règlements permettant un dimensionnement encadré de ces structures datent des années 1960.



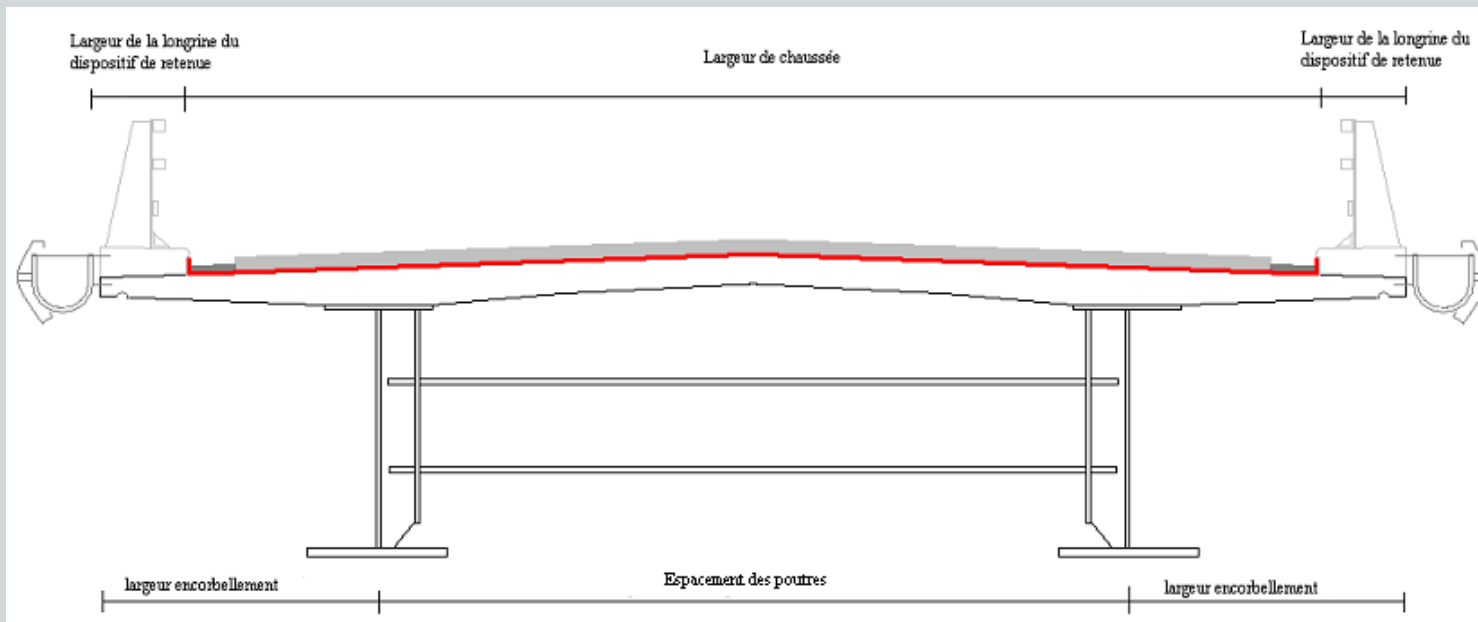
photos : source CETE Est



Systeme étudié : le bipoutre mixte

Principaux éléments de différenciation des ponts de type « bipoutre mixte » :

- nature de l'acier de la charpente
- géométrie des tôles unitaires
- principe d'assemblage des tôles unitaires
- nature et la géométrie de la connexion
- conception de l'entretoisement
- conception du raidissage
- mode constructif
- géométrie et la nature du hourdis
- nature des superstructures



Retour d'expérience : cas de défaillance

- Établissement d'une cartographie des aléas (cf guide *Maîtrise des risques – SETRA – janvier 2013*)
- Recensement de cas de défaillance de ponts ou de perte de fonctionnalité
- Analyse des cas de défaillances : tabliers à poutres métalliques sous chaussée



Défaillances : premiers enseignements





- Pas d'effondrement de bipoutres mixtes modernes (conception en France depuis le milieu des années 1980)
- Importance de l'occurrence simultanée des aléas
 - définition des actions concomitantes, avec leur niveau agissant
 - état de la structure : perte de matière par corrosion, surcharges permanentes, prise en compte de fissuration, prise en compte d'un affouillement
- Les cas recensés montrent l'importance :
 - des phases d'élaboration et de réalisation du projet : conception, commande, exécution, supervision
 - de la surveillance
 - de la maintenance
- Un défaut de maintenance de l'ouvrage peut ainsi avoir des conséquences majeures (cas des embâcles en cas de crue).
- Perte de fonctionnalité de l'ouvrage sans ruine
 - fermeture de la circulation
 - restriction de circulation
 - restriction de tonnage



Analyse des endommagements

ponts à poutres métalliques à âme pleine

Endommagements constatés	Aléas à l'origine de l'endommagement	Facteurs aggravant	Illustrations
Déformation prononcée d'une ou plusieurs poutres	Chocs de véhicules routiers	Conception (entretoisement, blocage sur appui, masse du tablier)	
	Incendie	Absence de hourdis béton armé	

haut : photo source University Nebraska

bas : photo source Sétra



Analyse des endommagements

ponts à poutres métalliques à âme pleine



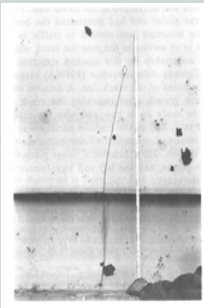

Endommagements constatés		Aléas à l'origine de l'endommagement	Facteurs aggravant	Illustrations
Fissures sur les poutres	liée à la conception du raidissage d'âme	Conception (dispositions constructives, choix des aciers) / Exécution (qualité des soudures)	Augmentation du niveau et de la fréquence des surcharges	
	liées à l'assemblage de tôles additionnelles sur les semelles inférieures	Conception (dispositions constructives) / Exécution (qualité des soudures)		

photo source university of Perdue



Analyse des endommagements

ponts à poutres métalliques à âme pleine



Endommagements constatés		Aléas à l'origine de l'endommagement	Facteurs aggravant	Illustrations
Fissures sur les poutres	liée à la conception du contreventement latéral	Conception	Augmentation du niveau et de la fréquence des surcharges	 <p>Figure 4: Visible Fractures of Center Girder E-28 and East Girder F-28</p>
	liées à des détails particuliers	Conception (dispositions constructives, choix des aciers) / Basses températures / Exécution (qualité des soudures)		

photo source university of Perdue



Analyse des endommagements

ponts à poutres métalliques à âme pleine



- De nombreux choix initiaux conditionnent la durée de vie de l'ouvrage, sa résistance et son adaptation à des situations non prévues :
- les matériaux et les procédés d'assemblages :
 - nature de l'acier : caractéristiques de résilience, soudabilité,...
 - procédé d'assemblage : procédé de soudage adapté, contrôles possibles
- la conception :
 - assemblages : classification en fatigue, compréhension du fonctionnement mécanique, accessibilité et facilité d'inspection
 - Report de charge : travées continues, dalle connectée et cadre d'entretoisement, déformation avant rupture permettant l'alerte,...
 - protection vis-à-vis des agressions extérieures : protection de la structure métallique notamment au niveau des joints d'extrémité,...
 - dispositions vis-à-vis des instabilités (possibilités de redistribution,...)
- le contrôle :
 - procédures de contrôles adaptées vis-à-vis de la taille critique des défauts initiaux
 - système qualité lors de la construction permettant de déclarer la conformité de l'ouvrage



Analyse des endommagements

ponts à poutres métalliques à âme pleine



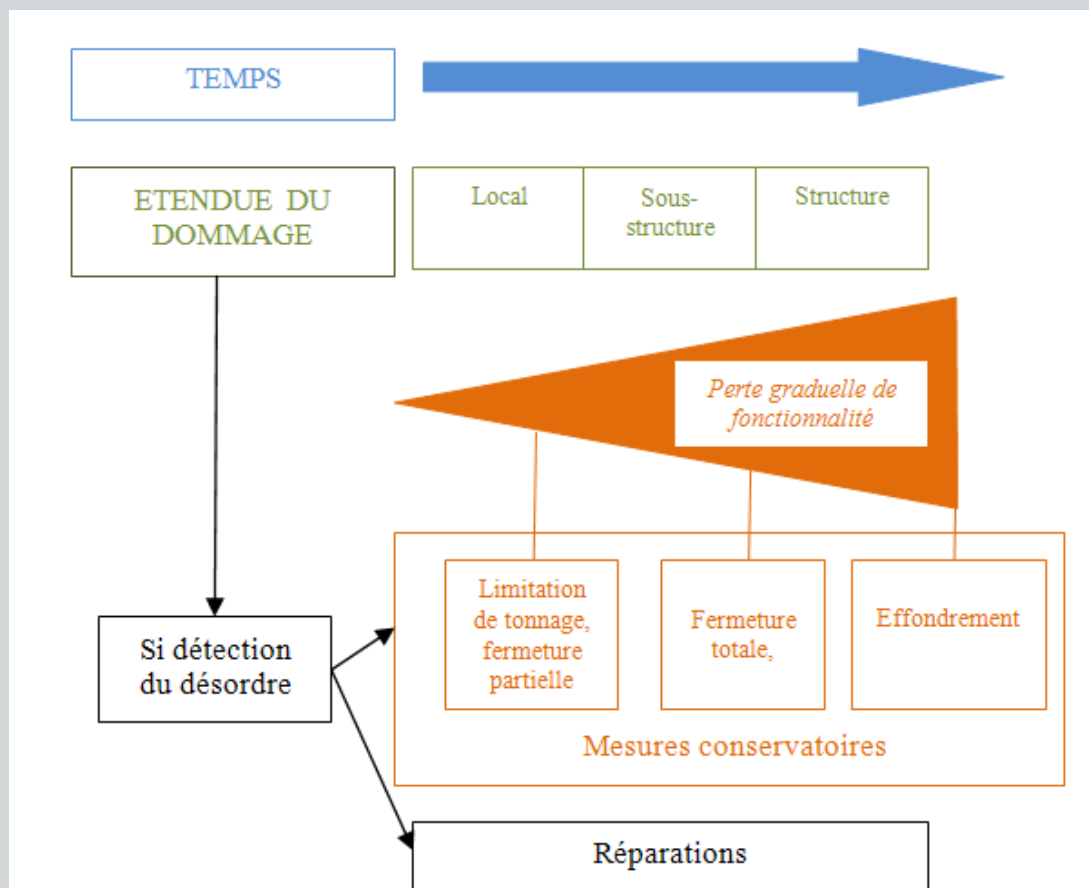
- Importance d'une inspection régulière :
 - détecter au plus tôt l'apparition de désordres pouvant entraîner des ruptures fragiles
 - de nombreux effondrements ont pu être évités grâce à des inspections périodiques.
- Possibilité d'effondrements lorsque la taille critique du défaut ne pouvait être observée avant rupture brutale :
 - masqué par les pièces de l'assemblage
 - taille critique du défaut trop faible
- Mesures conservatoires en cas de désordres affectant des poutres porteuses :
 - la limitation de tonnage ou fermeture des voies
 - l'étalement des poutres endommagées
 - la réalisation de percements circulaires à l'extrémité des fissures en vue de limiter le risque de propagation.



Analyse des endommagements

ponts à poutres métalliques à âme pleine

- Suivant le type d'évènement, l'endommagement (déformation, fissure, rupture de pièces) de l'ouvrage peut être plus ou moins local et évoluer plus ou moins vite d'un niveau local vers un niveau plus global de perte de fonction de l'ouvrage.



Analyse des endommagements

ponts à poutres métalliques à âme pleine

Type de dommage	Étendue de l'endommagement			Vitesse d'évolution	Possibilité de détection
	Local	Sous-structure	Structure		
Fissure (fatigue, conception, qualité de soudure,...)	Fissuration du cordon de soudure	Rupture partielle d'une section de poutre	Effondrement du pont ou déformation excessive	En général, phase d'initiation assez lente, mais risque de propagation instable avec rupture fragile	Peut être détectée si taille critique suffisamment importante
Choc	Voilement d'âme, déformation de semelle	Perte de rigidité d'une section de poutre	Effondrement du pont ou déformation excessive	Quasi-immédiat suite au choc	A priori sans objet sauf si choc non déclaré
Incendie	Déformation d'âme, de semelle	Perte de rigidité d'une section ou portion de poutre	Effondrement du pont ou déformation excessive	Rapide (pendant la durée de l'incendie)	A priori sans objet sauf si incendie non signalé
Instabilité élastique	Voilement d'âme ou déversement de semelle	Perte de rigidité d'une section de poutre	Effondrement du pont ou déformation excessive	Peut être provoqué par un chargement excessif avec rupture brutale	Détection d'une déformation, identification d'un défaut de conception
Sous dimensionnement	Déformation puis rupture d'une pièce	Déformation puis rupture d'une poutre, d'un assemblage	Effondrement du pont ou déformation excessive	Peut être provoqué par un chargement excessif avec rupture brutale	Difficile à détecter sauf conception typique
Basse température (rupture fragile)	Rupture d'une pièce	Rupture d'une poutre et ou d'un assemblage	Effondrement du pont ou déformation excessive	Immédiat	Détection éventuelle de désordres critiques
Corrosion	Perte d'épaisseur de métal	Perte de rigidité d'un élément, voir rupture	Déformation excessive	En générale assez lente	Peut être détecté lors des inspections

Sélection de scénarios



- Deux types de scénarios :
 - Décroissance de la résistance de la structure (suppression d'éléments constitutifs)
 - Augmentation des chargements sur structure non dégradée
- Dans tous les cas, il faut définir :
 - l'état de la structure (dégradé ou non avec localisation des sections amoindries);
 - le modèle d'analyse globale retenu (prise en compte de la fissuration du béton, linéaire ou non, élastique ou plastique, second ordre, en 3D, intégrant le hourdis et l'entretoisement,...) ;
 - le chargement appliqué (concomitance et intensité des actions).
- Différentes conceptions de structures peuvent être testées en jouant sur :
 - la travellure : travées isostatiques, continues,... ;
 - l'entretoisement : présence ou non, espacement, double action mixte ;
 - la conception des appuis : présence de butées bloquant l'échappement,... ;
 - la qualité des aciers (normatives, réelles,...) ;
 - la classe de détail des assemblages.



Analyse détaillée

scénarios retenus



- **Rupture potentielle de la semelle inférieure et de l'âme de toutes les poutres dans une section ou affaiblissement significatif de la rigidité.**
 - aléas concernés : **basse température, incendie**
- **Rupture d'une poutre (ou chute de rigidité) dans une section**
 - aléas concernés : **fatigue, choc, incendie, corrosion**
- **Dénivellation d'appui et rotation imposée**
 - aléas concernés : **instabilité de la fondation, affouillements, instabilité d'un appui**
- **Augmentation des charges (permanentes ou surcharges) ou chargements particuliers avec analyse plastique de l'ouvrage**
 - aléas concernés : **fatigue, augmentation du trafic, rechargement, neige, phasage de déconstruction du hourdis, usage non prévu (manifestation,...)**

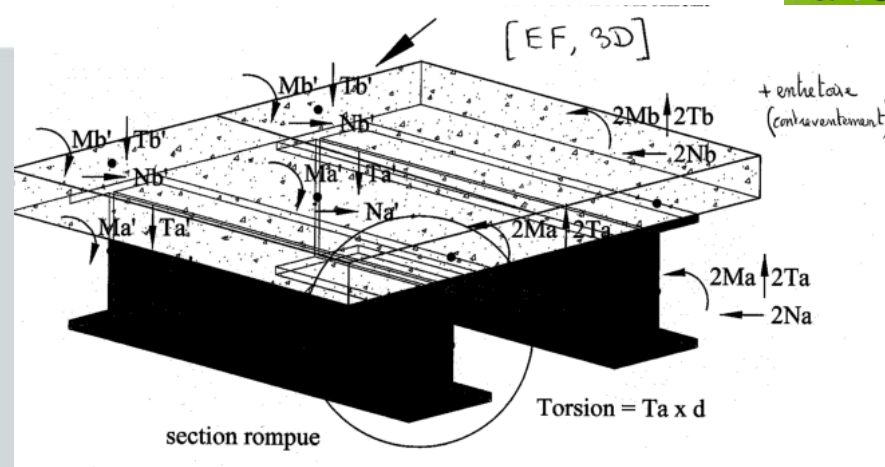


Analyse détaillée

Modélisation

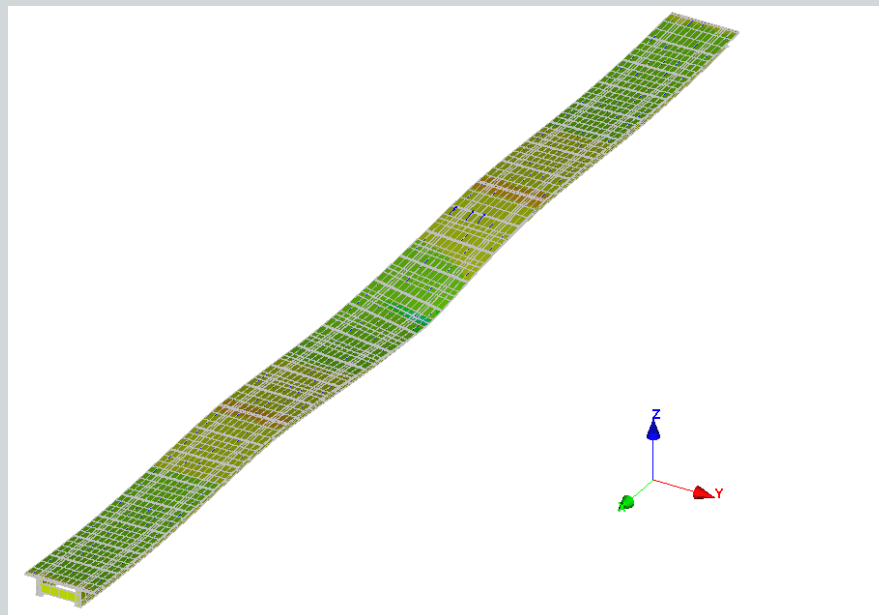
Objectif :

Analyse de l'évolution de la défaillance locale vers la défaillance globale

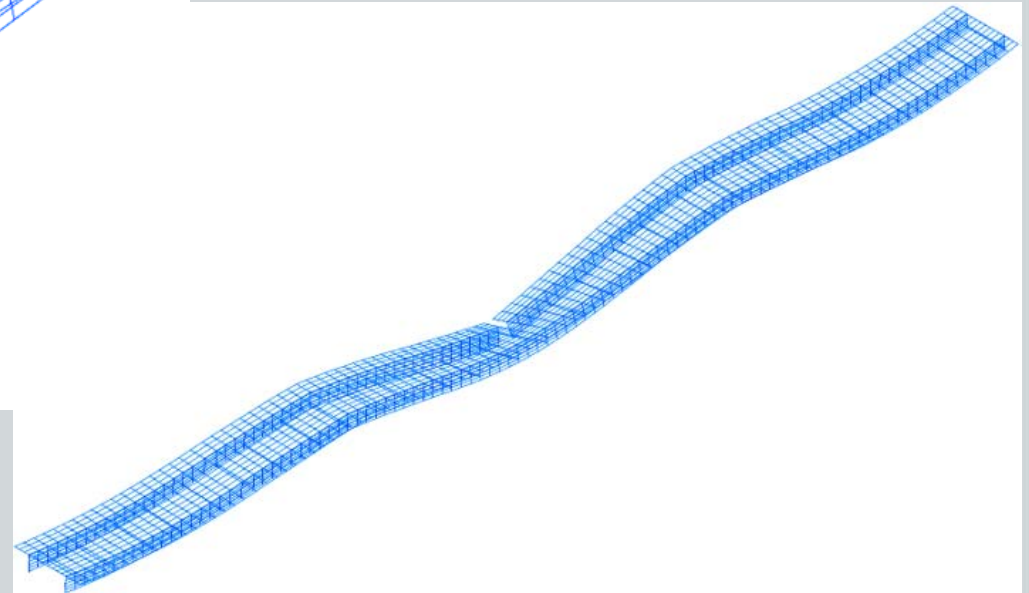
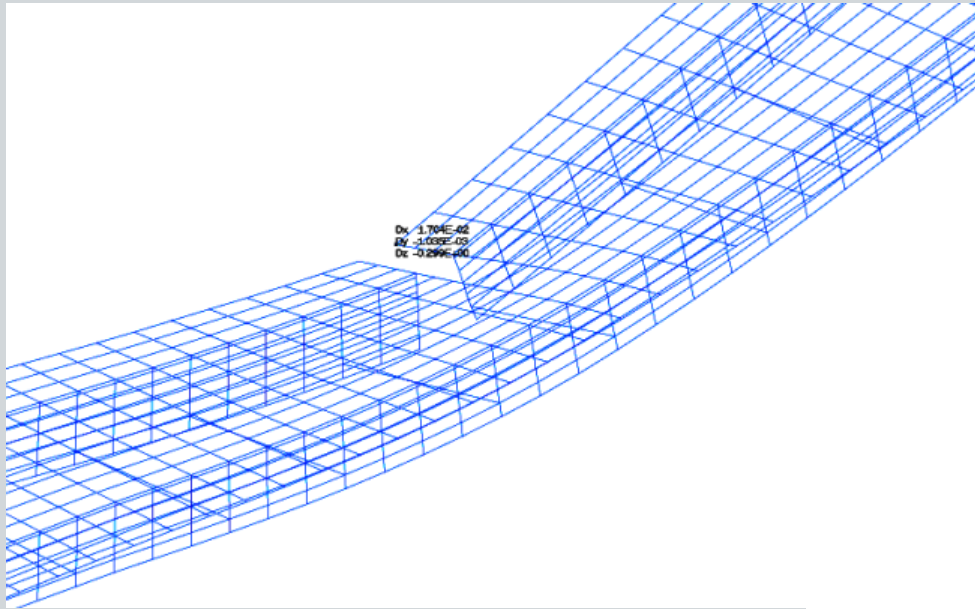


Échelles de modélisation :

- section
- tronçon de tablier
- tablier complet



Scénario : rupture d'une poutre



Merci pour votre attention

