

Journée Construction Acier 2010



Robustesse des structures

Jean-François Demonceau



18 novembre 2010



INTRODUCTION ET DEFINITIONS



Définitions

- Action exceptionnelle
- Ruine progressive
- Intégrité structurale
- Robustesse
- ...



Situation de chargements

- Résistance et comportement approprié requis sous les *actions de dimensionnement*
⇒ Dimensionnement traditionnel
- Robustesse requise sous *actions exceptionnelles**
⇒ Exigences structurales supplémentaires

* À distinguer des actions accidentelles



Situation de chargements

- Exemple:

Action sismique significative ($0,4g$) pour un bâtiment en Turquie:

⇒ Action de dimensionnement

Action sismique similaire pour un bâtiment en Belgique:

⇒ Action exceptionnelle



Situation de chargements

- Neige,
 - Vent (tempête, ...),
 - Tremblement de terre
 - Tsunami,
 - ...
- } Causes naturelles
- Impacts,
 - Explosions, ...
 - ...
- } Causes humaines



Situation de chargements

- Neige,
- Vent (tempête, ...),
- Tremblement de terre
- Tsunami,
- ...
- Impacts,
- Explosions, ...
- ...

Différentes natures:

- statique
- dynamique
- thermique
- ...

Risque : la ruine progressive



RONAN POINT, 1968



Risque : la ruine progressive

WTC, 2001



Risque : la ruine progressive



OKLAHOMA CITY, 1995



Risque : la ruine progressive





Exigences structurales

- Sous les actions de dimensionnement :
 - Résistance
 - Rigidité
 - Stabilité
 - Ductilité

De la structure dans sa globalité et de ses éléments structuraux avec un niveau de sécurité prédéfini
- Sous les actions exceptionnelles :
 - Intégrité structurale

De la structure dans sa globalité (ou d'une partie significative) pour éviter la *ruine progressive*

Intégrité structurale



Pas d'intégrité
structurale



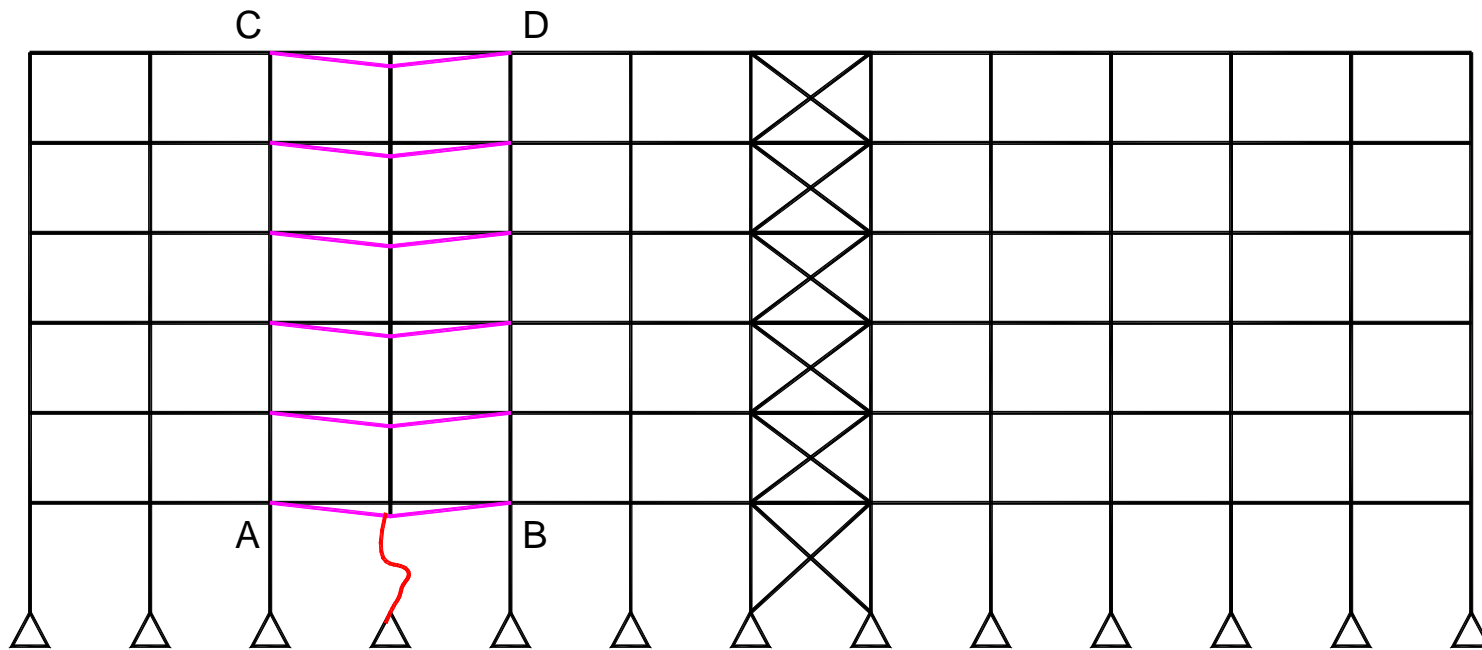
Intégrité structurale
partielle



Au-delà des états limites...

- Sous actions de service ELS
- Sous actions pondérées ELU
- Sous actions exceptionnelles:
 - Pas de contrôle des déformations et des déplacements
 - Effet du second ordre → recherche d'un nouvel état stable en configuration déformée

Au-delà des états limites...



Robustesse

La **robustesse** est définie comme une **habilité structurale** permettant d'assurer une résistance suffisante contre la ruine sous un **évènement exceptionnel**, c-à-d qui n'a pas été considéré dans le dimensionnement initial



Ice Stadium Bad Reichenhall © Feuerwehr Berchtesgaden

L'intégrité structurale devrait être préservée en évitant la ruine progressive

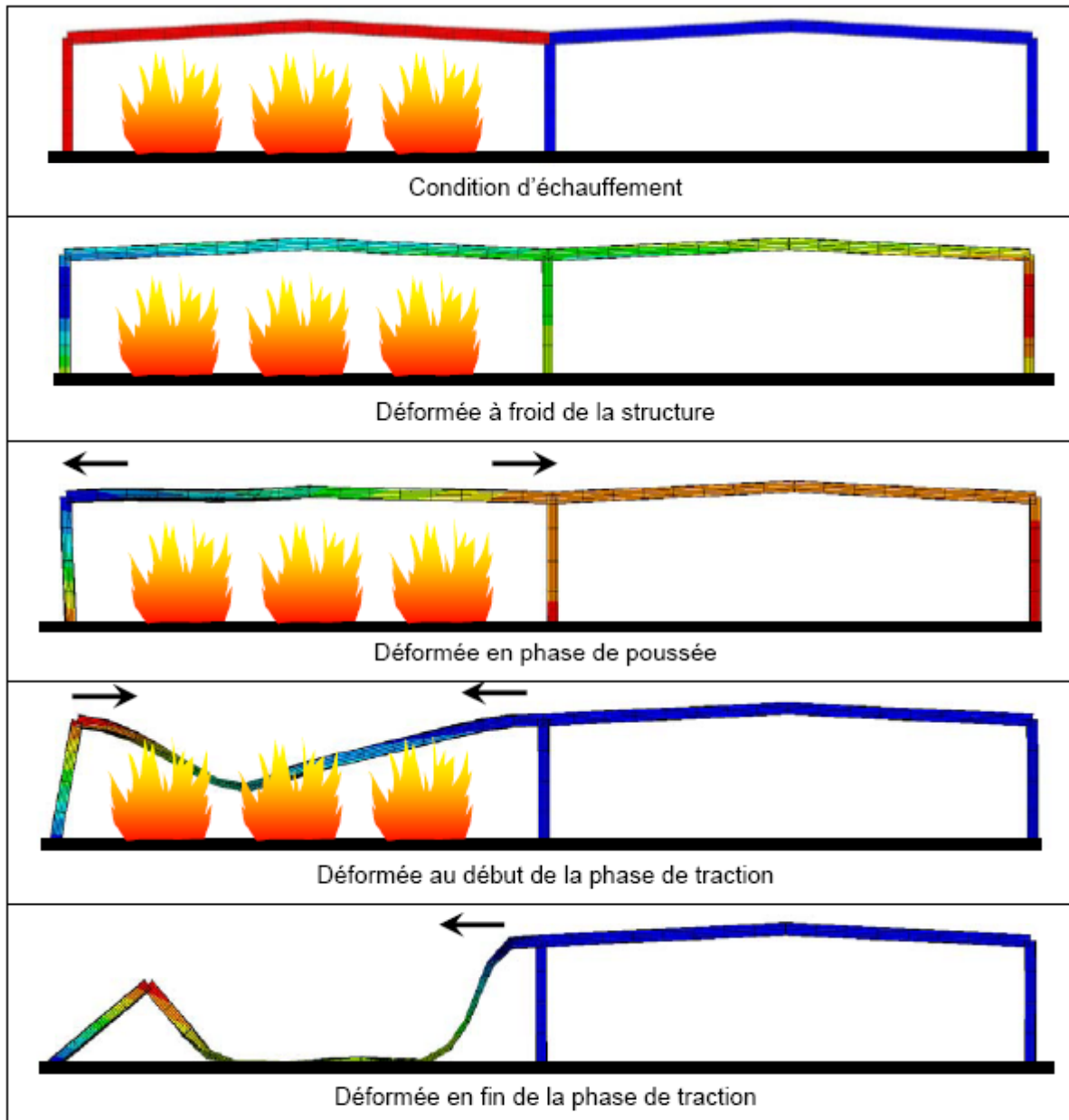
La structure globale devrait rester stable même si une partie de celle-ci est détruite

Objectifs

- Sauver des vies
- Réduire les risques pour les services d'intervention
- Limiter les dommages collatéraux



Exemple





Exigence de l'Eurocode

Eurocode EN 1990 - Bases de calcul des structures :

(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**.



Exigence de l'Eurocode

- Contrairement à ce qui est disponible pour les états limites ultimes et de service, **seules des exigences générales et peu de règles détaillées existent**



Moyens

Différents aspects à considérer

Il faut faire face à des problèmes complexes:

- Actions: dynamique, dépendante de la température,...
- Les caractéristiques des matériaux dépendent de la température et du comportement dynamique
- Evaluation d'une durée de résistance ou d'une capacité portante résiduelle





Philosophies envisageables

- Méthodes indirectes :

 - Pas de scénarios considérés

 - Juste des recommandations de dimensionnement à respecter

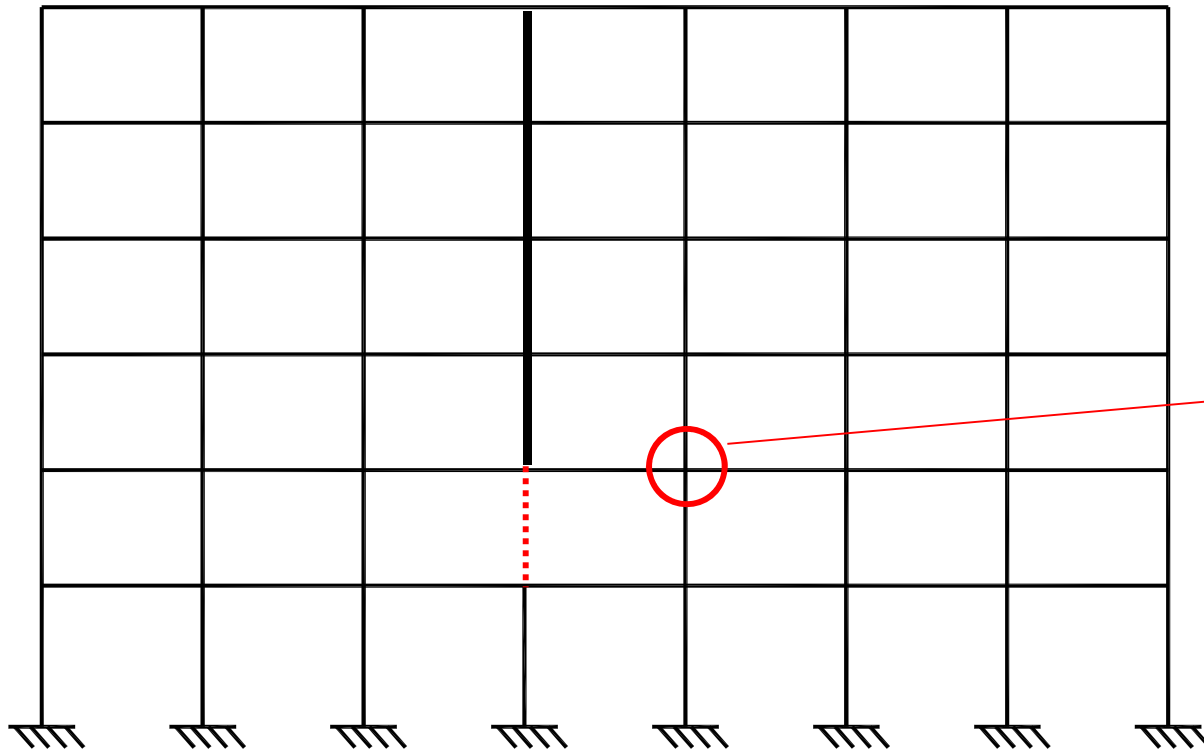
- Méthodes directes :

 - Résistance sous des actions spécifiques

 - Méthode de cheminement alternatif des efforts

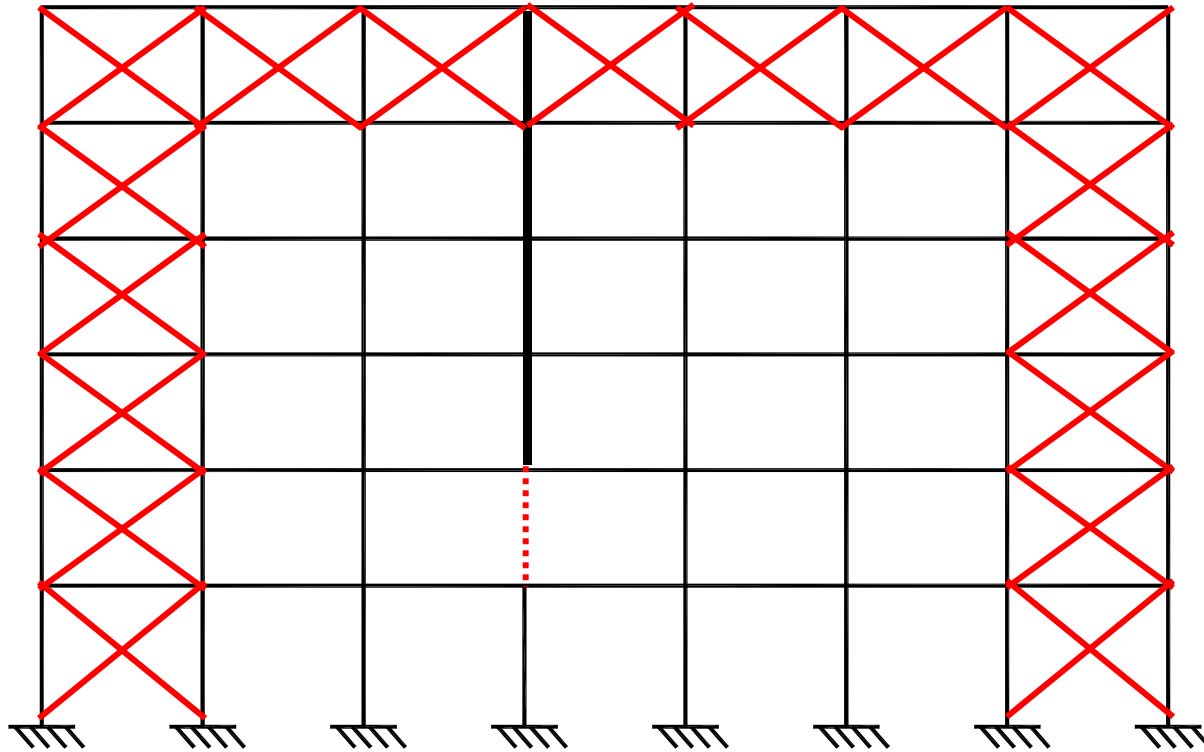


Méthodes indirectes

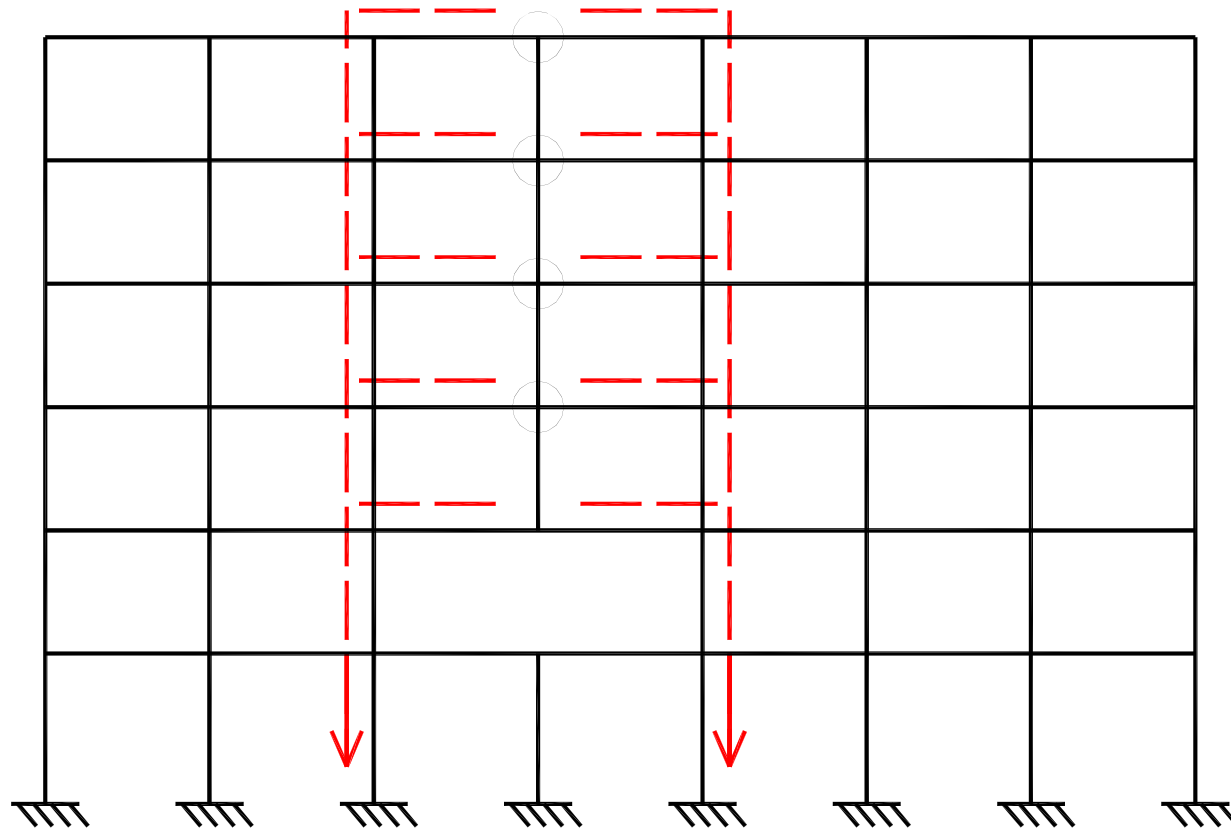


« TYING
RESISTANCE »
REQUIREMENT

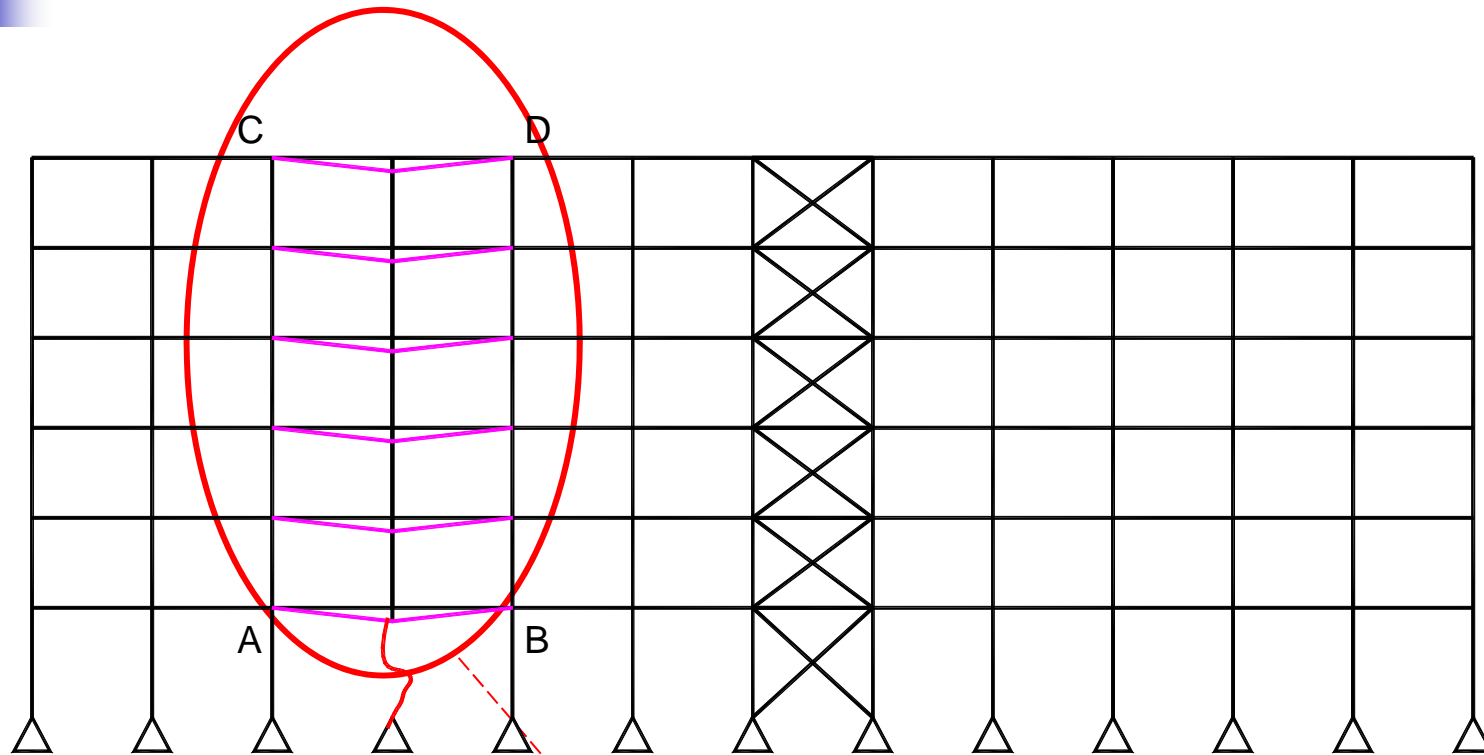
Résistance sous des actions spécifiques



Méthode de cheminement alternatif des efforts



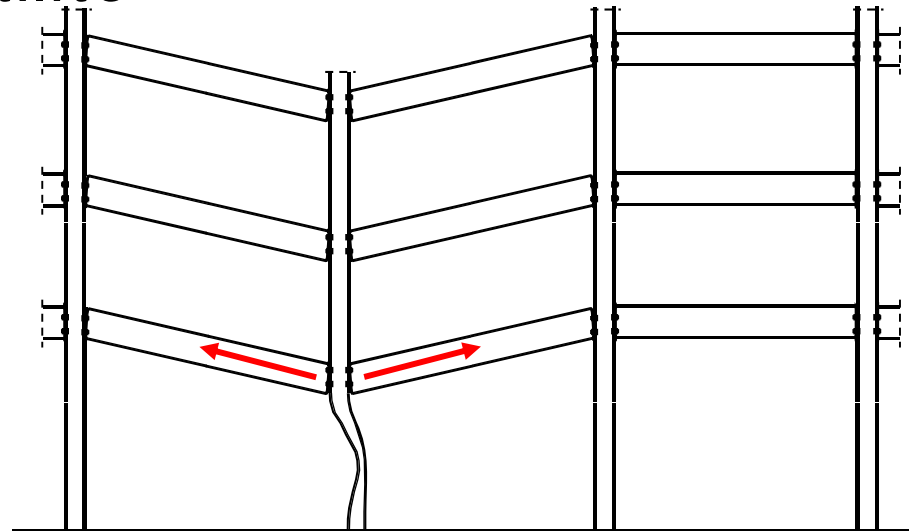
Méthode de cheminement alternatif des efforts



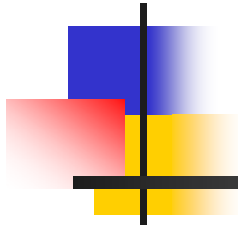
Besoin de résistance locale
et de ductilité

Méthode de cheminement alternatif des efforts

- Approche économique
- Exigences:
 - Résistances sous efforts membranaires
 - Critères de ductilité
 - Redondance
 - ...



Développement de recommandations de dimensionnement





Développement de recommandations

- Nécessité d'assurer l'intégrité structurale \Rightarrow Exigence d'un niveau de robustesse (Index de robustesse)
 - Exigences de dimensionnement associées à l'index de robustesse
- Recommandations de dimensionnement permettant de respecter ces exigences

Développement de recommandations

- Exigences de dimensionnement transformées en recommandations de dimensionnement

Exigences de dim.

- $F_u > \dots$
- $\Phi_u > \dots$
- Modes de ruine
- ...



Recommandations de dim. pour les assemblages

- Pourcentage d'armatures
- Rapport t/d à respecter
- Modes de ruine recommandés
- ...

To be or not to be ... robust

