

Journées techniques GC'2013

CONTRIBUTION A LA QUANTIFICATION DE LA ROBUSTESSE STRUCTURALE

Nadia KAGHO - IFSTTAR
André ORCESI - IFSTTAR
Christian CREMONA - Sétra

Mardi 26 mars 2013

Sétra

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



IFSTTAR

Contexte de l'étude

- Cadre réglementaire actuel
 - EN 1990 et EN 1991-1-7

Une structure doit être conçue pour résister à des événements exceptionnels (incendies, explosions, chocs ou conséquences d'une erreur humaine)... sans être endommagée

de manière disproportionnée par rapport à la cause initiatrice



Aléa



Défaillance initiale locale / conséquences directes



Défaillance disproportionnée / conséquences indirectes

- Enjeu

Apprécier le passage d'une défaillance locale

à une défaillance globale



Exemples de défaillances structurales (1/2)

Défaillance initiatrice locale

Explosion de gaz
au 18ème étage



Défaillance disproportionnée



Tour du Ronan point, Londres, le 16 mai 1968



Exemples de défaillances structurales (2/2)

Défaillance initiatrice locale



**Goussets déformés
(NTSB 2008)**



**Fracture dans un
gousset (NTSB 2008)**

Défaillance disproportionnée



Pont autoroutier de l'I35 à Minneapolis, USA, 1er août 2007



Problématique

- Qualifier et quantifier la robustesse structurale,
- Étudier la probabilité du système de passer d'un état de dysfonctionnement local à un état de dysfonctionnement global,
- Proposer une approche générale,
- Prendre en compte les incertitudes.



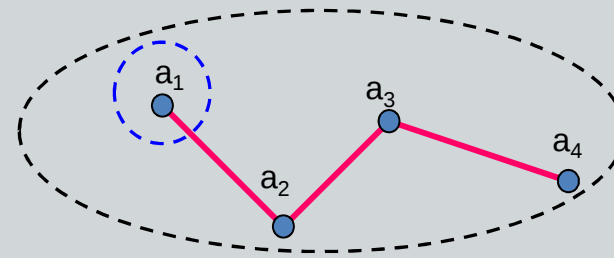
État de l'art: Indices de robustesse

Il existe globalement **deux familles d'indices de robustesse probabilistes** pour la quantification de la robustesse structurale:

Indices	Remarques
Comparaison des probabilités de défaillance: - d'un système intègre - d'un système endommagé	La cinématique de passage d'un dysfonctionnement local à un dysfonctionnement global n'est pas caractérisée - comment arriver à un système endommagé?
Analyse de risque avec une mesure de l'écart entre les conséquences des dysfonctionnements local et global du système	Il n'existe cependant pas de mise en œuvre pratique.



Quantification de la robustesse structurale



$$I_{r,1} = \frac{(P_{\text{locale}} - P_{\text{globale}})}{P_{\text{locale}}}$$

$$I_{r,2} = \frac{P_{\text{locale}}}{(a \times P_{\text{globale}} + P_{\text{locale}})}$$

$$a = \frac{C_{\text{globale}}}{C_{\text{locale}}}$$

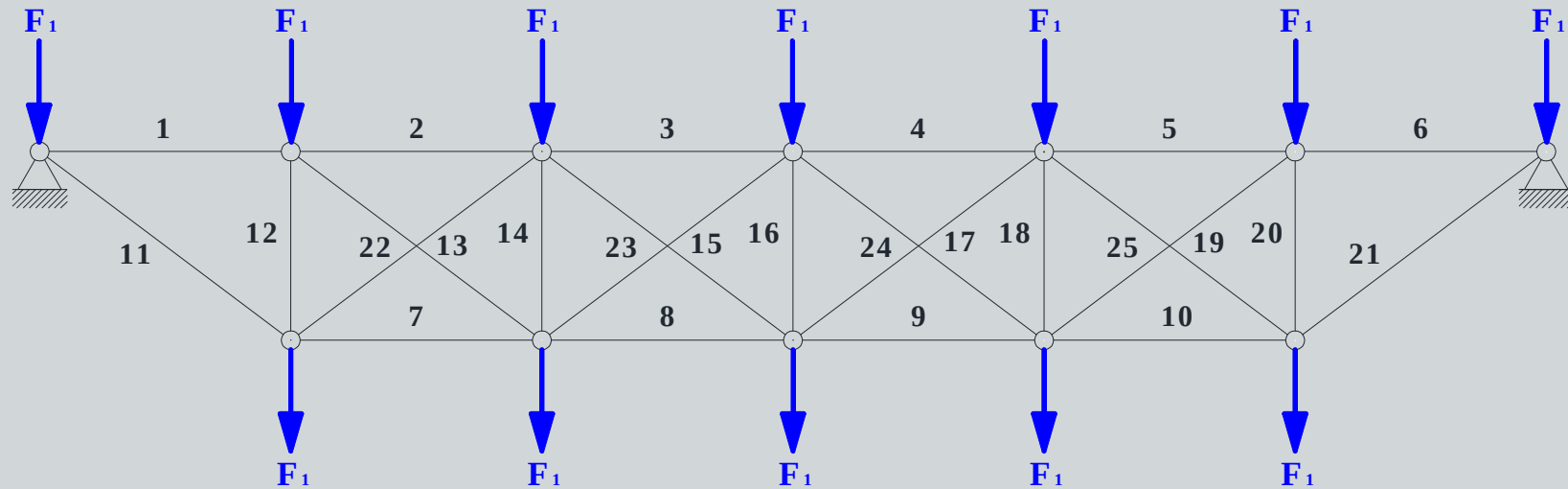
Méthode du β -unzipping

Méthode des branches et bornes

Méthode du β -unzipping avec bornage



Application 1 – Poutre en treillis



Défaillance locale

Défaillance localisée
au niveau d'un
élément

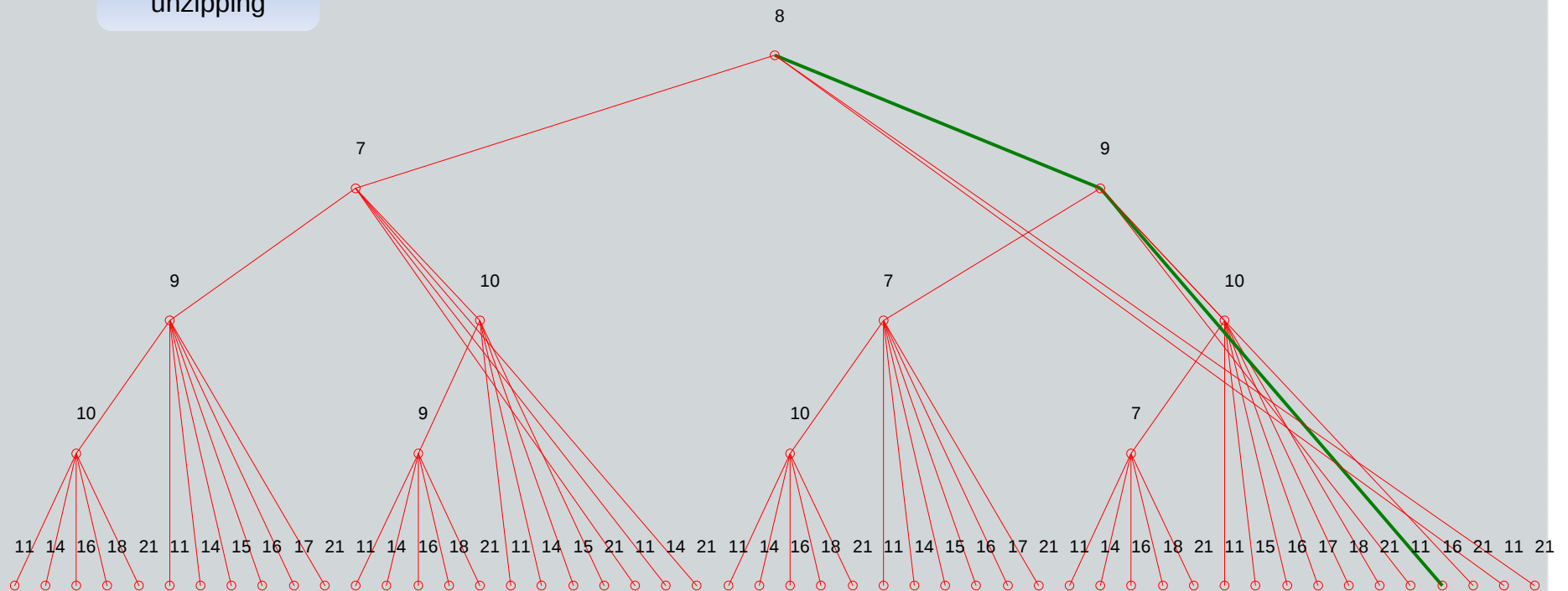
Défaillance globale

Apparition d'un
mécanisme



Application 1 – Poutre en treillis

Méthode du β -unzipping

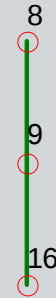


Application 1 – Poutre en treillis

Méthode des branches
et bornes

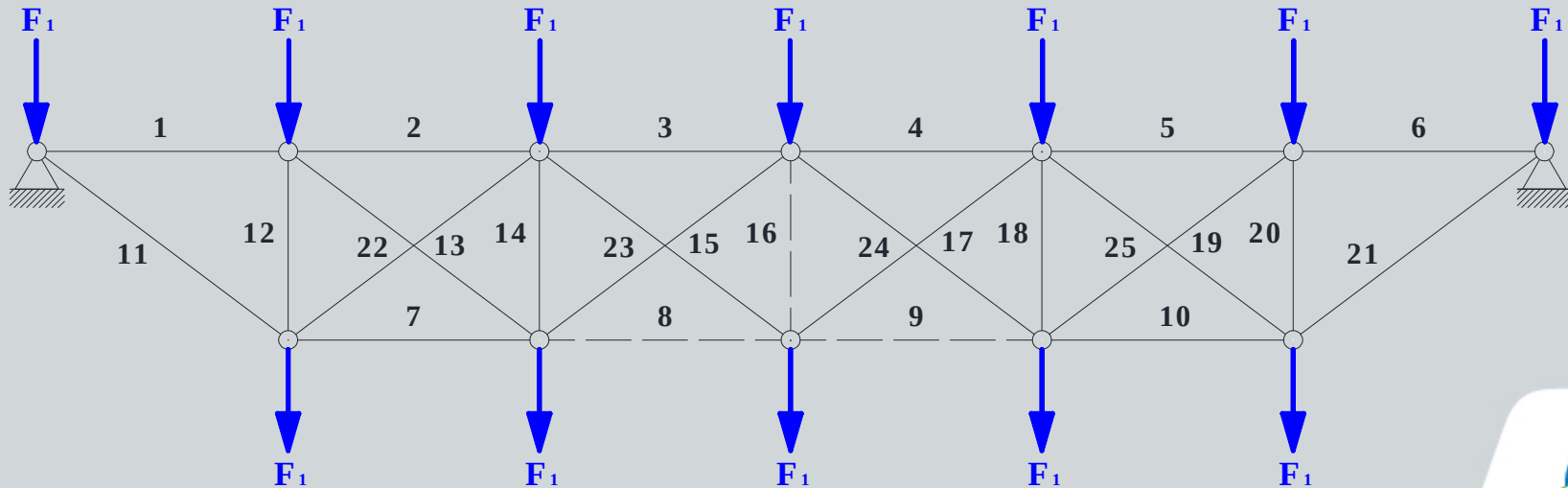


Méthode du β -unzipping
avec bornage



$$I_{r,1} = 0,71$$

$$I_{r,2} = 0,03$$



Mécanisme le plus
probable



Application 1 – Poutre en treillis

Influence du degré d'hyperstaticité interne ou redondance

Structures étudiées	Nombre d'éléments structuraux	Degré d'hyperstaticité interne/ redondance	Indices de robustesse (I_{r1})	Indices de robustesse (I_{r2}) (a=100)
	25	5	0,71	0,03
	23	3	0,56	0,02
	22	2	0,08	0,01



Application 2 - poutre précontrainte

- VIPP : Viaduc à travées Indépendantes à Poutres Préfabriquées précontraintes par post-tension

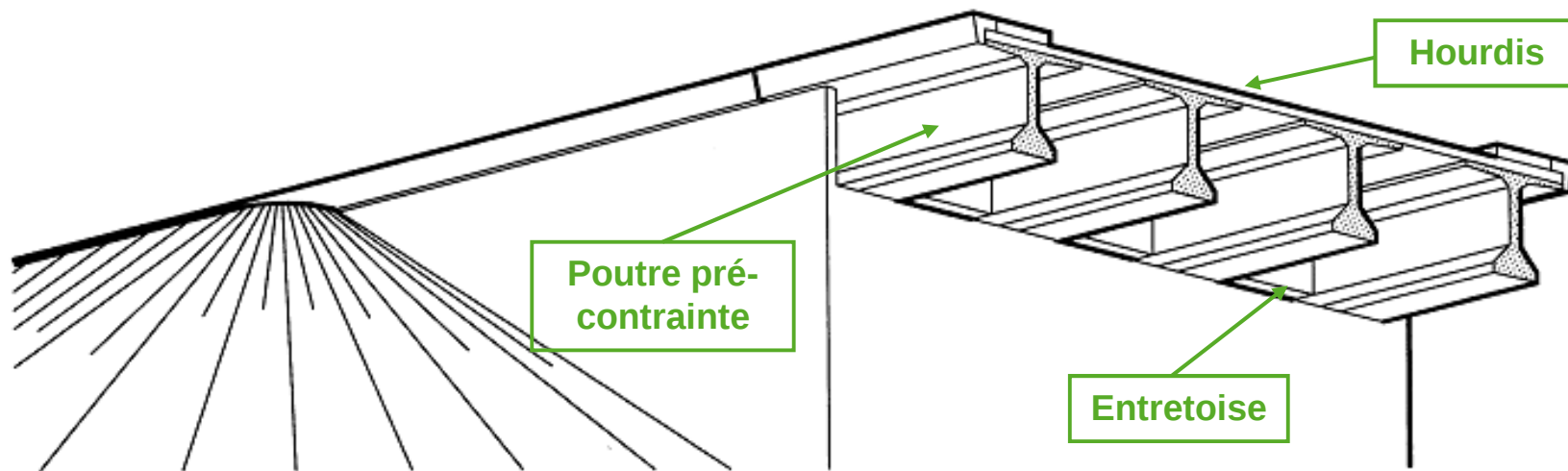


- Etude menée en collaboration avec le CETE Nord Picardie

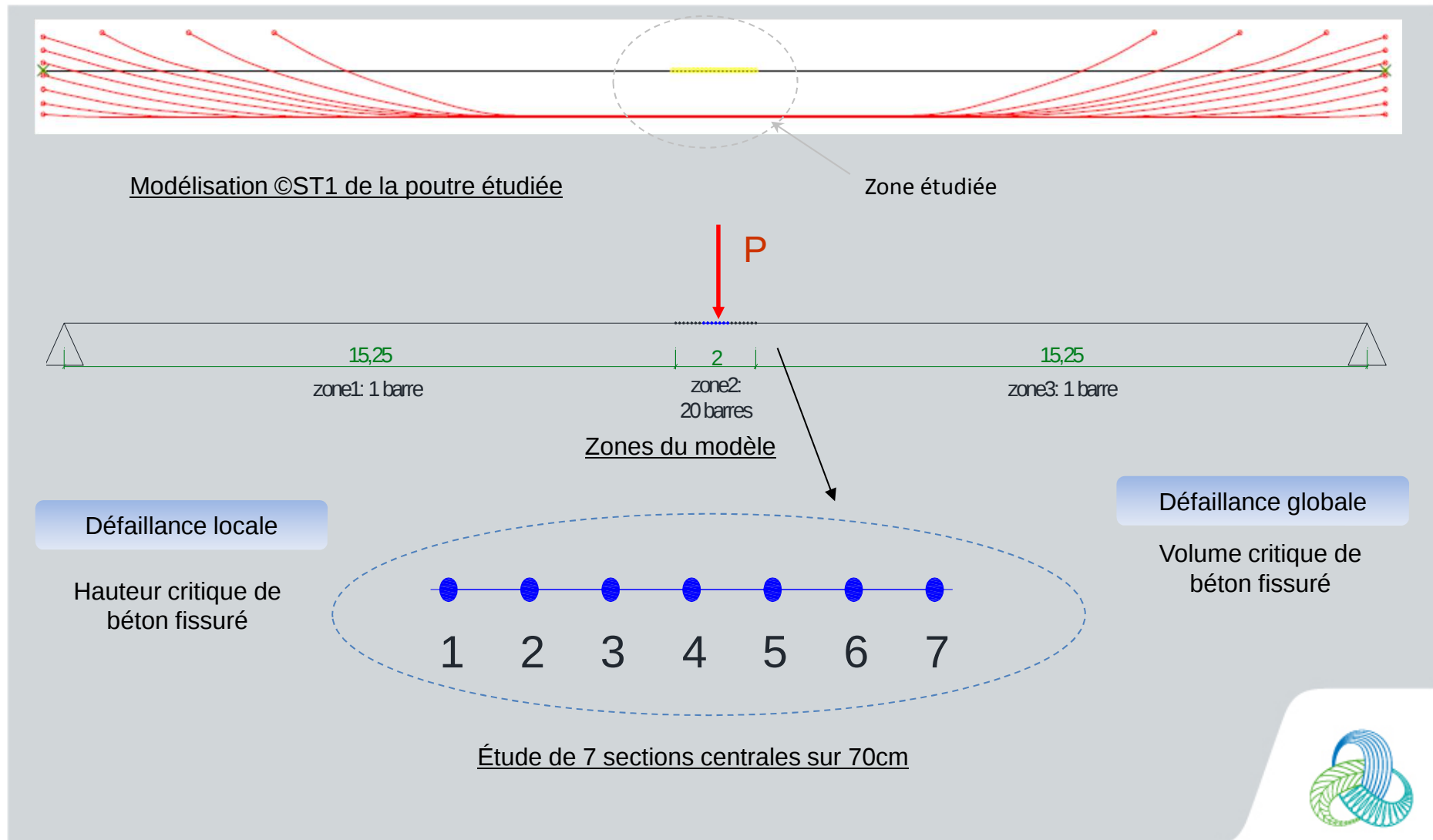


Application 2 - poutre précontrainte

Localisation

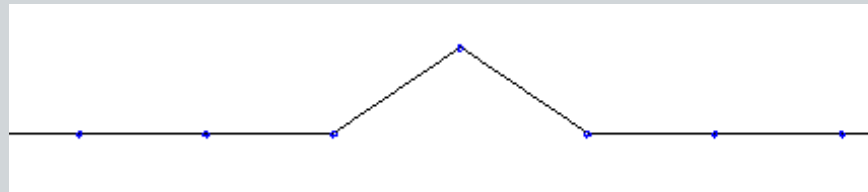


Application 2 - poutre précontrainte

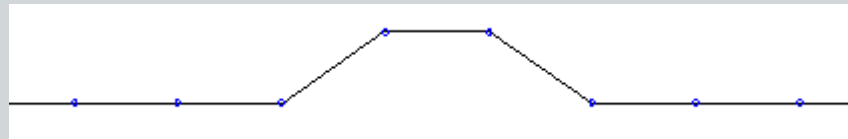


Modélisation de la défaillance locale (2/2)

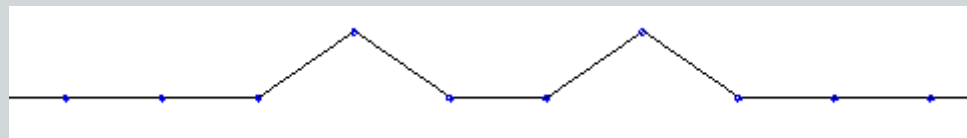
- Positions des centres de gravité



Une section défailante



Deux sections défailtantes
consécutives



Deux sections défailtantes
non consécutives

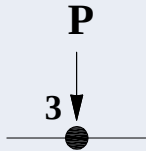
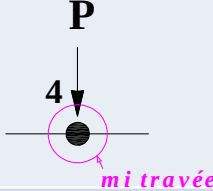
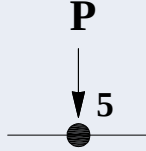


Application 2 - poutre précontrainte

	Valeurs moyennes	Lois de probabilité	Coefficient de variation
Charge appliquée à mi-travée (P)	0,79 MN	Normale	5%
Poids volumique du béton (ρ_c)	25 kN/m ³		5%
Tension dans les câbles de pré-contrainte (σ_p)	800 Mpa	Lognormale	9%
Résistance à la traction du béton hors zone étudiée (f_{ct}^h)	-3,27 Mpa		20%
Résistance à la traction du béton au droit de la section 1 (f_{ct}^1)	-3,27 Mpa		20%
Résistance à la traction du béton au droit de la section 2 (f_{ct}^2)	-3,27 Mpa		20%
Résistance à la traction du béton au droit de la section 3 (f_{ct}^3)	-3,27 Mpa		20%
Résistance à la traction du béton au droit de la section 4 (f_{ct}^4)	-3,27 Mpa		20%
Résistance à la traction du béton au droit de la section 5 (f_{ct}^5)	-3,27 Mpa		20%
Résistance à la traction du béton au droit de la section 6 (f_{ct}^6)	-3,27 Mpa		20%
Résistance à la traction du béton au droit de la section 7 (f_{ct}^7)	-3,27 Mpa		20%
Hauteur de fissure critique pour la défaillance locale (h_f critique locale)	0,10 m		3%



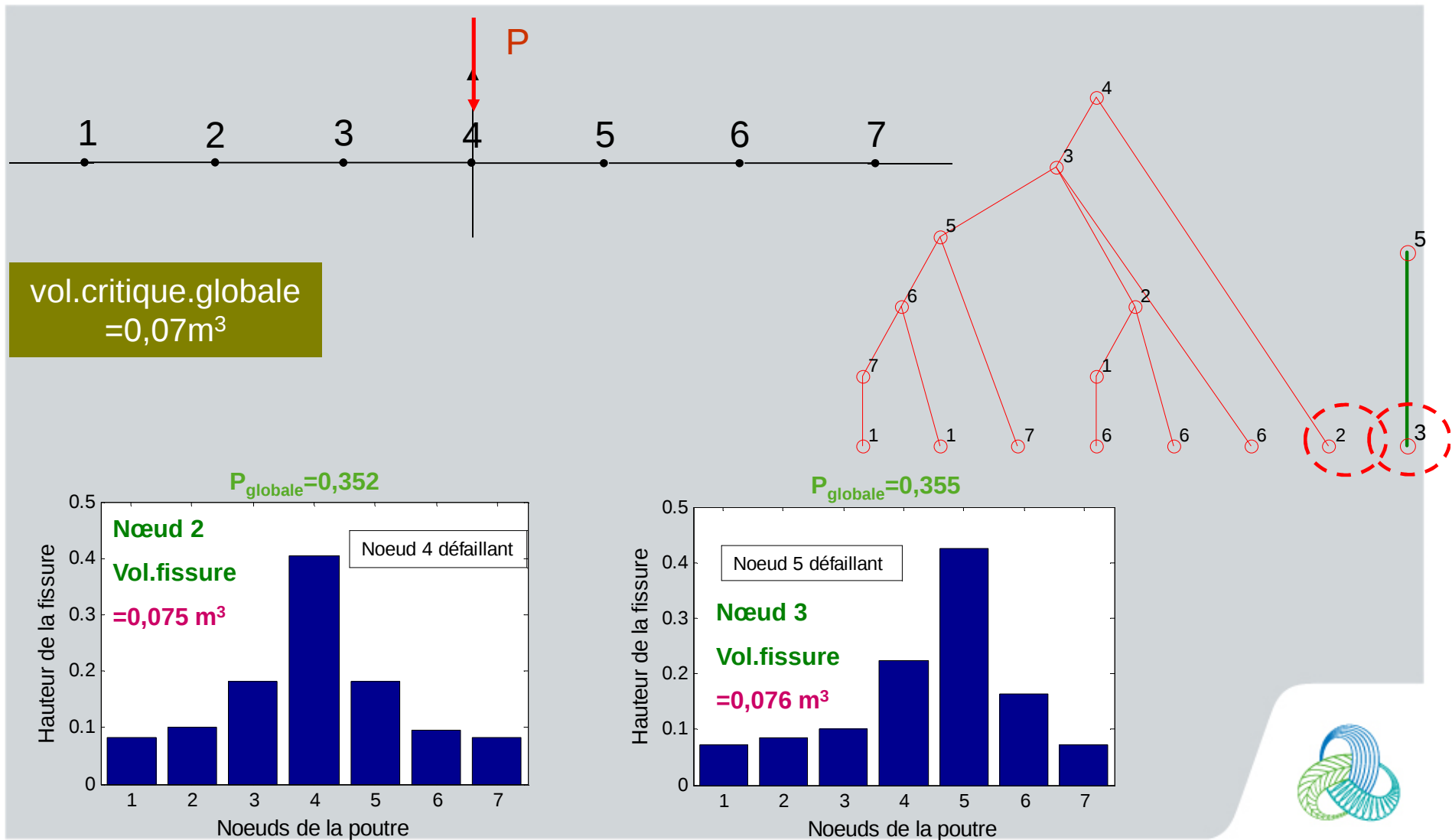
Application 2 - poutre précontrainte

	Cas de charge considérés		
	I: Charge appliquée au nœud 3	II: Charge appliquée au nœud 4 (mi travée)	III: Charge appliquée au nœud 5
			
Indice de robustesse $I_{r,1}$	0,18	0,18	0,18
Chemin de défaillance le plus probable identifié	4→2	5→3	6→4
Probabilité d'occurrence du chemin le plus probable	$3,54 \times 10^{-1}$	$3,55 \times 10^{-1}$	$3,54 \times 10^{-1}$

vol.critique.globale=0,07m³



État de la fissuration au point de fonctionnement



Conclusions

- Proposition d'indices de robustesse à valeurs bornées
- Caractérisation de l'écart entre le dysfonctionnement local et le dysfonctionnement global
- Prise en compte de la cinématique de la défaillance
- Applicable pour à tout problème sous réserve de disposer de modèles d'endommagement pertinents (ELS et ELU)
- Applicable à des structures complexes,



Perspectives

- Non prise en compte d'un état déjà endommagé de la structure
- Sens donné aux valeurs des indices (absolu, relatif?)
- Temps de calcul relativement longs pour des exemples complexes
- Comment appliquer la méthode :
 - Explicitement par le calcul des indices
 - Valable pour des structures complexes
 - Implicitement par la recommandation de bonnes pratiques de dimensionnement
 - Analyse de divers dimensionnements d'ouvrages d'une même famille
 - Identification des dimensionnements les plus robustes



Merci pour votre attention

