

# Gestion patrimoniale des ouvrages d'art

## De nouvelles approches pour optimiser la gestion du patrimoine :

# Les inspections ciblées d'ouvrages

**Mardi 23 septembre 2014**

Journée technique sous l'égide de la CoTITA

Davy PRYBYLA – CEREMA / DterEst

Catherine ROUX – CEREMA / DTerMed

# Contexte de l'inspection OA

## ITSEOA : 19/10/1979

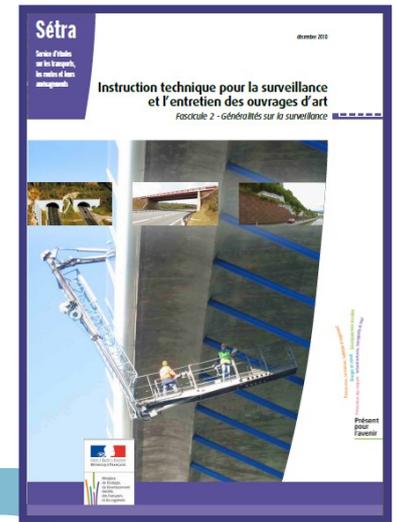
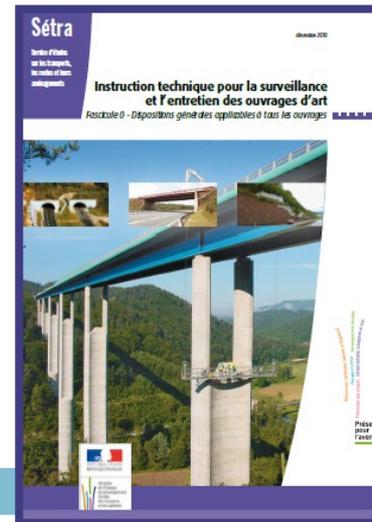
- Effondrement du pont Wilson à Tours (1978).
- Recommandations uniformes.
- Contrôle annuel, inspections détaillées (IDP, groupe 2).

## ITSEOA modifiée : 26/12/1995

- Introduction de l'IQOA.

## ITSEOA : 16/02/2011

- Introduction de périodicités 3/6/9 pour l'IDP selon l'état (IQOA).



# Inspections ciblées

## **Objectifs : compléter l'ITSEOA**

- Focaliser les inspections sur des problèmes sensibles.
- Mettre en place une démarche anticipée (préventive) de maintenance.

## **Approche**

- Introduire un niveau d'inspection quantitative.
- Rationaliser les périodicités d'inspection.
- Meilleure adéquation entre exigences et besoins en matière d'inspection.

# Inspection ciblée

## Démarche

- Déclencher des actions de maintenance préventive pour :
  - éviter l'apparition de pathologie,
  - maintenir et prolonger la durée d'utilisation de l'ouvrage.
- Optimiser la gestion des ouvrages en complétant le suivi visuel :
  - par des contrôles quantitatifs du vieillissement des matériaux,
  - en optimisant le nombre de contrôles.
- Organiser les programmes de maintenance préventive :
  - en déterminant un indice de vieillissement par ouvrage,
  - en définissant la périodicité des inspections.

## Principes

- Portent sur des phénomènes de vieillissements particuliers, identifiés comme critiques pour les ouvrages.
- Menées sur des zones représentatives de chaque ouvrage et les risques potentiels associés.
- Réalisées soit sur un échantillon ciblé représentatif d'un patrimoine, soit sur l'ensemble des ouvrages d'un patrimoine.

# Ouvrages concernés



**Groupe 1** : ensemble des ponts courants non soumis aux inspections détaillées :

- ponts en béton armé,
- ponts courants en béton précontraint (parties en béton armé)

→ Suivi statistique grâce à un échantillonnage des OA du groupe



**Groupe 2** : inclus dans les ouvrages soumis à inspections détaillées :

- ponts métalliques,
- ouvrages mixtes,
- ponts précontraints de grande dimension.

→ Suivi individuel des ouvrages



# Remarque

## Sont exclus

- Les ouvrages pathologiques (type 3 et 3U).
- Les ouvrages sensibles
  - VIPP.
  - Buses métalliques et béton.
  - Tranchées couvertes.
- Les ponts en maçonnerie.

# Etapes d'une inspection ciblée

## Echantillonnage des ouvrages du groupe 1

### Préparation de l'inspection ciblée

- Analyse préalable du dossier d'ouvrage.
- Liste des aléas potentiels à suivre : pénétration de chlorures, fissures de fatigue...
- Identification des zones représentatives à inspecter.
- Pré-visite destinée à préciser les paramètres de l'inspection ciblée : nombre et type d'essais, accessibilité, moyen d'accès, contraintes diverses (circulation, ...).

### Réalisation de l'inspection ciblée

### Exploitation des résultats

- Calcul d'un indice de vieillissement pour chaque zone représentative inspectée. La combinaison de ces indices donnera un indice global de vieillissement l'ouvrage.
- Détermination de la prochaine inspection.

# Etapes d'une inspection ciblée

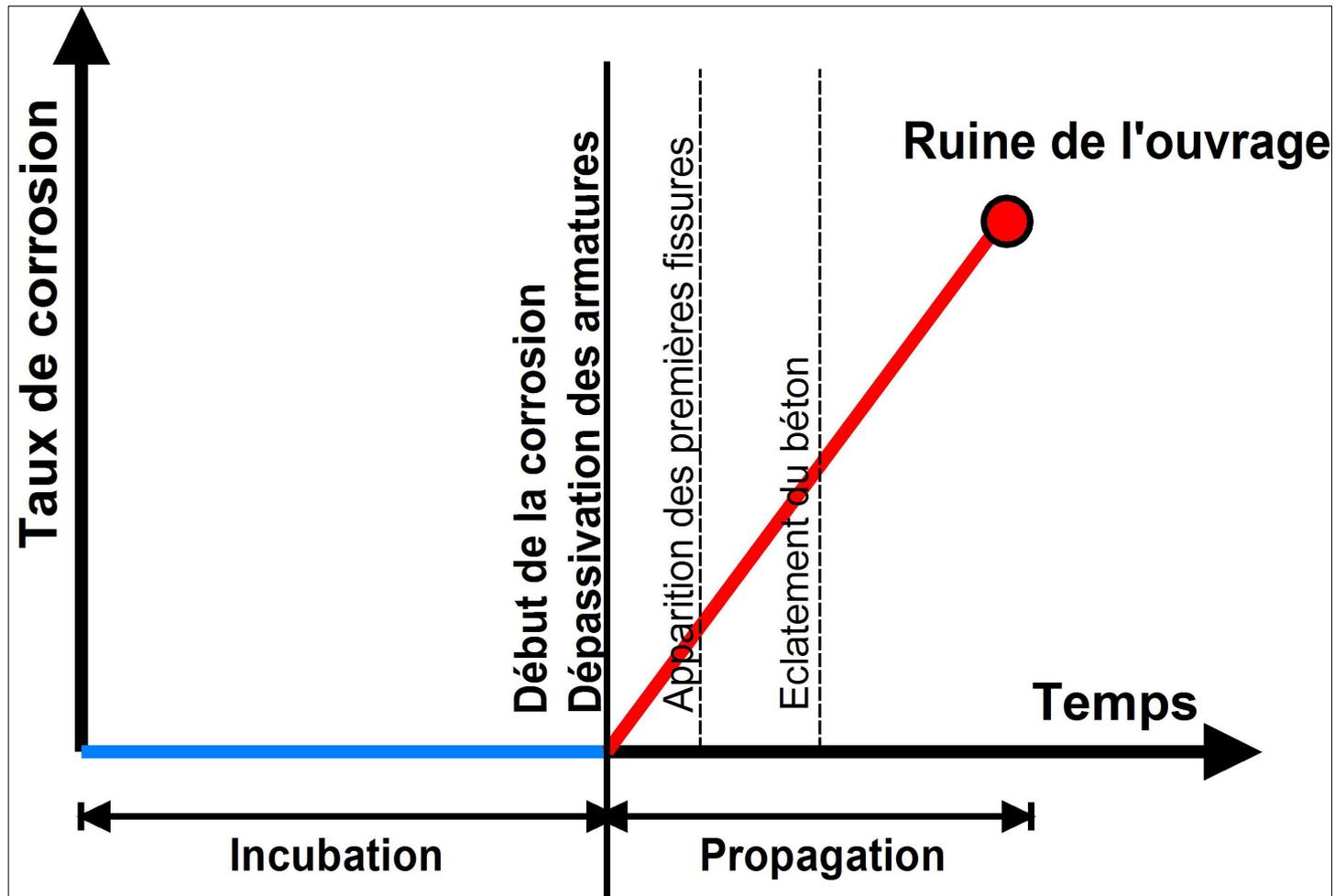
## Conclusions et suites à donner

- Vieillessement normal des zones critiques.
- Vieillessement anormal des zones critiques. Dans ce cas, un diagnostic détaillé doit être mené avant toute action corrective.

## Qualification du personnel

- Inspecteurs "Ouvrages d'Art" pour la partie essais.
- Chargés d'études pour les études préalables du dossier d'ouvrage, l'établissement de la fiche « inspection ciblée », le choix des zones test, l'exploitation des résultats...
- Qualifications complémentaires nécessaires selon le type de structure, la nature des contrôles à réaliser.

# Inspection ciblée du matériau BA



# Définition des classes d'agressivité et de matériaux

Aléas

	Classe	Type d'environnement	Classes d'exposition selon EN206-1
Carbonatation	1c	Environnement rural	XC4
	2c	Environnement urbains ou industriel	XC4
Chlorures	1d	Absence de salage	XD1
	2d	Salage peu fréquent	XD1
	3d	Salage fréquent	XD2
	4d	Zones de marnage et de submersion marine ou salage très fréquent	XS2, XS3, XD3

Vulnérabilité

Bétons ordinaires  
Bétons de qualité supérieure

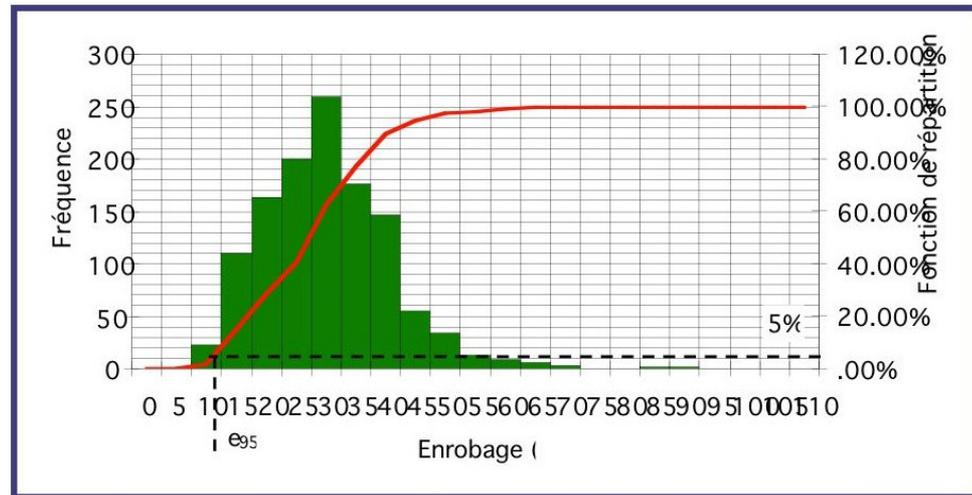
# Définition des classes de criticité et essais à réaliser

	Béton de qualité supérieure	Béton ordinaire
Environnement (1c;1d)	Classe 1	Classe 3
Environnement (2c;1d) ou (1c ou 2c;2d)	Classe 2	Classe 4
Environnement (1c ou 2c;3d)	Classe 5	Classe 7
Environnement (1c ou 2c;4d)	Classe 6	Classe 8

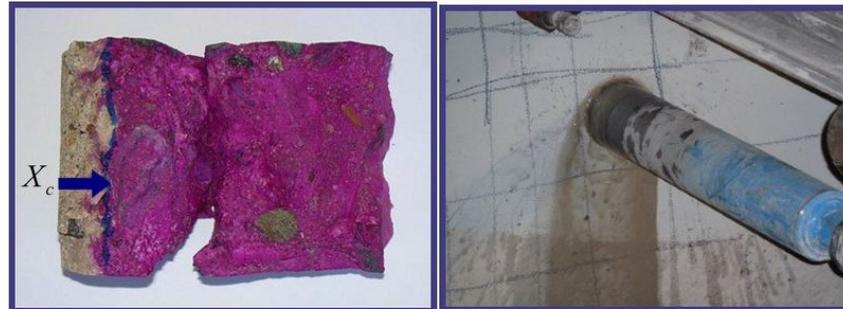
	Phénomène	Essai à réaliser	Nombre de zones
Classes 1 / 2	Carbonatation	Mesure du front de carbonatation	4 (Tablier, appuis)
Classes 3 / 4	Carbonatation & pénétration des chlorures	Mesure du front de carbonatation Mesure du front de chloruration	4 (Tablier, appuis)
Classes 5 / 8	Carbonatation & pénétration des chlorures	Mesure du front de chloruration Mesure du front de carbonatation	6 (Tablier, appuis, autres)

# Investigations à réaliser

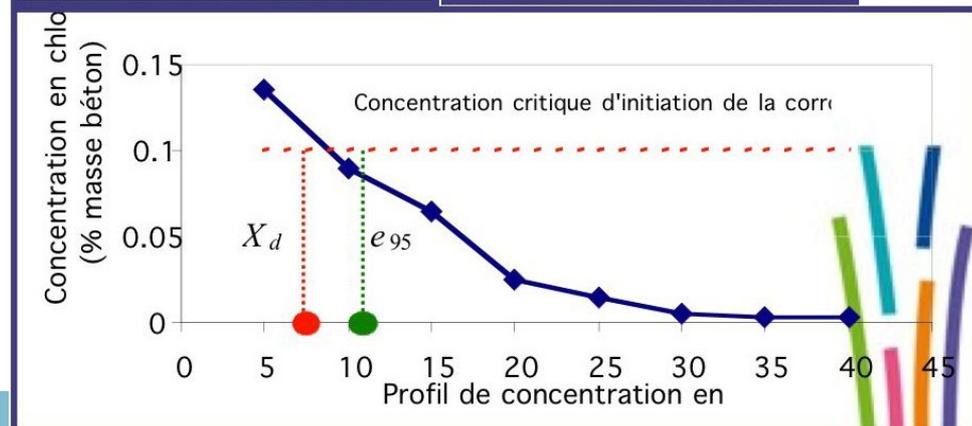
Mesure de l'enrobage



Front de carbonatation



Front de chlorures



# Echantillonnage

## Ciblage des parties et des zones pour un ouvrage inspecté

- Scindé en parties d'ouvrage
  - Tablier.
  - Appuis (piles et culée d'ouvrage).
  - Autre (corniche, mur en retour ...).
- Deux zones représentatives
  - Zone exposée (ZE).
  - Zone référence (ZR).
- Chaque partie de l'ouvrage appartient à une classe. Deux parties d'ouvrages peuvent alors être dans deux classes différentes.

## Objectif

- Inspecter 10% du patrimoine (composé de partie d'ouvrage) de chaque classe homogène afin d'obtenir des données sur leurs cinétiques de vieillissement.

## Remarque

- Un ouvrage déclassé (dégradations apparentes, obsolescence...) n'est plus suivi par inspection ciblée. Il est alors remplacé, dans l'échantillon, par 2 autres ouvrages de sa classe.

# Indice de vieillissement

## Local

- Par zone inspectée.
- Deux indices par phénomènes (carbonatation, chlorures).

$$I_{v,(c,d)}(T_i) = \left( \frac{X_{(c,d)}}{e_{95}} \right)^2$$

## Global

- Sous forme d'intervalle.

$$I_{v,global}(T_i) = \left[ \min \left( I_{v,local}(T_i) \right), \max \left( I_{v,local}(T_i) \right) \right]$$

# Cas des ouvrages non inspectés

Profondeur d'enrobage non connu

- Fixée à  $e_{nom}$  réduit de 10mm

Estimation de l'indice de vieillissement :

$$\hat{I}_{v(c,d)}(\hat{T}_i) = \left( \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \sqrt{I_{v(c,d)}^k} \left[ \frac{\left( \frac{e_{95}^k}{e_{nom,r}} \right)}{\sqrt{\left( \frac{T_i^k}{\hat{T}_i} \right)}} \right] \right)^2$$

Période	Enrobage nominal
1906 à 1934	Entre 15 et 20 mm
1934 à 1964	20 mm (ouvrages à terre) 25 mm (ouvrages en mer)
1964 à 1980	20 mm 40 mm (ouvrages en mer)
1980 à 1992	20 mm 30 mm (parois non coffrées & actions agressives) 40 mm (ouvrages en mer)
1992 à 2010	20 mm 30 mm (parois non coffrées & actions agressives) 30 mm (structures exposées à carbonatation) 50 mm (ouvrages à la mer)

# Programmation de l'inspection suivante

- Pour les OA existants : fixé au quart de la durée de vie résiduelle :

$$T_{i+} = T_i + \frac{T_c - T_i}{4} \quad T_c = \frac{T_i}{I_{v(c,d)}(T_i)}$$

Indice de vieillissement à la prochaine inspection :

$$I_{v(c,d)}(T_{i+}) = \frac{T_{i+}}{T_c} = \frac{T_i + \frac{T_c - T_i}{4}}{T_c} = \frac{3}{4} I_{v(c,d)} + \frac{1}{4}$$

- Pour les OA neufs : fixé au quart de la durée de vie réduite :

$$T_r = \left( \frac{e_{95}}{e_{th}} \right)^2 T_{th} (=100 \text{ ans})$$

# Exemple

## Pile d'un pont (51 ans) en zone de marnage :

- Classe d'exposition : XS3.
- Relevé statistique des enrobages e95 : 35 mm.
- Durée de vie théorique: 100 ans.
  - Majoration de 2 classes structurales : S4 à S6.
  - Enrobage minimal théorique : 55 mm.

## Durée de vie réduite.

$$T_r = \left( \frac{e_{95}}{e_{th}} \right)^2 T_{th} = \left( \frac{35}{55} \right)^2 \times 100 \approx 40,5 \text{ ans}$$

## Inspection

- Profondeur de chlorures : 20 mm.

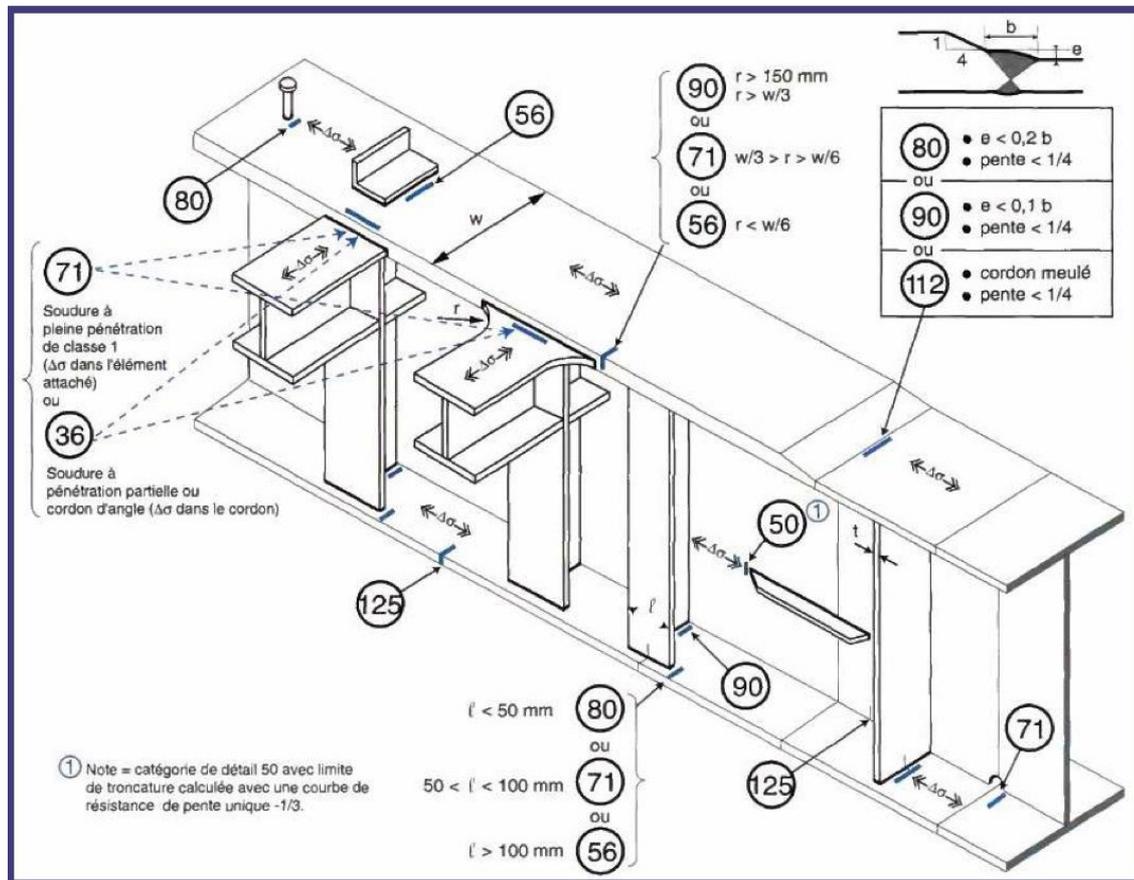
$$I_{v,(c,d)}(T_i) = \left( \frac{X_{(c,d)}}{e_{95}} \right)^2 = 0,32 \quad T_{i+} = T_i + \frac{T_c - T_i}{4} = 51 + \frac{\frac{51}{0,32} - 51}{4} \approx 78; I_{v,(c,d)}(T_{i+}) = 0,49$$

# Actions à engager

	Indice de vieillissement	Description	Actions
0	$I_v^i = 0$	Cas d'un ouvrage neuf	Programmation de la prochaine inspection ciblée
1	$0 < I_v^i \leq 0,5$	Le béton armé est en phase d'incubation Les armatures sont correctement protégées Le risque de corrosion est négligeable.	
2	$0,5 < I_v^i \leq 0,75$	La phase d'incubation de la corrosion est relativement avancée Le front de carbonatation et/ou de chlorures n'atteint pas encore les armatures Le risque de corrosion est faible.	Programmation de la prochaine inspection ciblée
3	$0,75 < I_v^i < 1$	La phase d'incubation de la corrosion est très avancée Le front de carbonatation et/ou de chlorures est proche des armatures Le risque de corrosion est moyen.	
4	$I_v^i \geq 1$	La corrosion est théoriquement amorcée (sans manifestation possible par des dégradations extérieures) Le risque de corrosion est élevé.	Programmation d'un diagnostic préalable à la définition d'une éventuelle opération de maintenance curative

# Inspections ciblées sur ponts mixtes

## Identification des zones à plus fort risque de fatigue



**4 assemblages minimum**  
puis 1 tous les 100 m de  
poutres pour les contrôles  
non destructifs par ultrasons  
pour la recherche de défaut  
tel qu'une fissure de fatigue.

**2 assemblages pour  
l'instrumentation sous trafic**

# Logigramme

- Etude de la note de calcul en fatigue et pré-visite de l'ouvrage.
- Détermination des zones pour contrôle US.
- Détermination des 2 zones pour l'instrumentation par jauges.

Contrôles US

Détection de défaut

- Existence d'un défaut sous seuil de détection US.
- Pose des jauges sur les 2 zones prédéfinies.
- Comptage des cycles.
- Détermination de l'indice de vieillissement.
- Date de la prochaine inspection.

- Exclusion de l'inspection ciblée.
- Ouvrage présentant des signes de fatigue.
- Nécessité d'investigations complémentaires.

# Investigations à réaliser

Contrôles US



Instrumentation par jauges



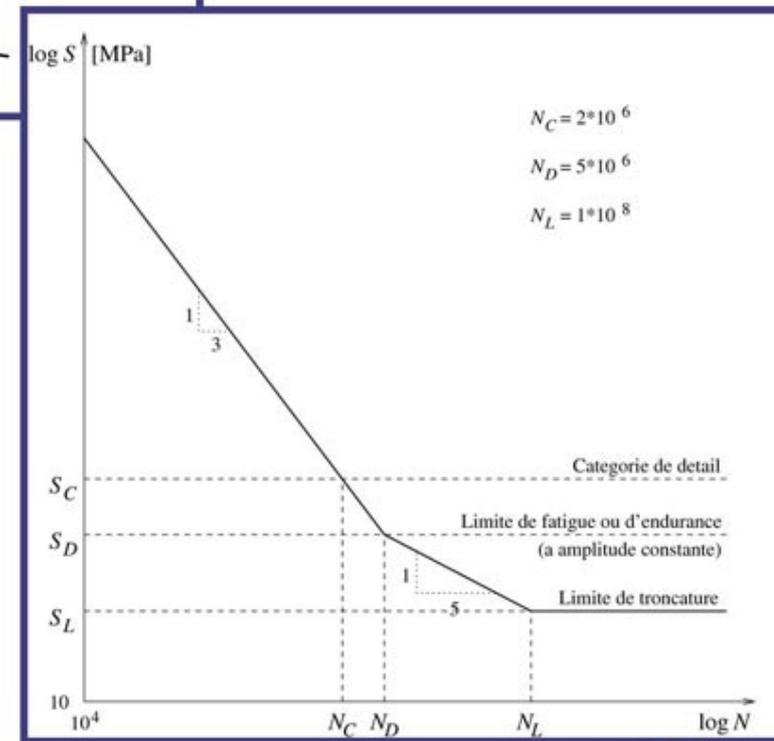
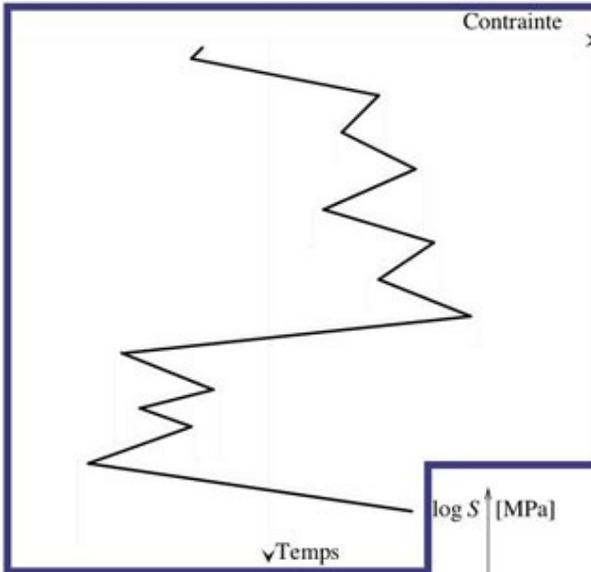
# Indice de vieillissement

Loi de Palmgren-Miner

$$I_{v(f)} = \frac{T_i}{T_c} = 50 D_{\text{mois}} T_i$$

$$D_{\text{mois}} = \sum_i \frac{n_i}{N_i}$$

- Cycles élémentaires calculés par la méthode de comptage de la goutte d'eau (rainflow).
- Cycles à la rupture issus de courbes de Wöhler.
- Ne tient pas compte du résultats du contrôle US.



# Programmation de l'inspection suivante

Fixé au quart de la durée de vie résiduelle.

$$T_{i+} = T_i + \frac{T_c - T_i}{4}$$

$$T_c = \frac{T_i}{I_{v(f)}(T_i)}$$

Indice de vieillissement à la prochaine inspection.

$$I_{v(f)}(T_{i+}) = \frac{T_{i+}}{T_c} = \frac{T_i + \frac{T_c - T_i}{4}}{T_c} = \frac{3}{4} v(c,d) + \frac{1}{4}$$

# Exemple

## Assemblage d'un pont (22 ans) :

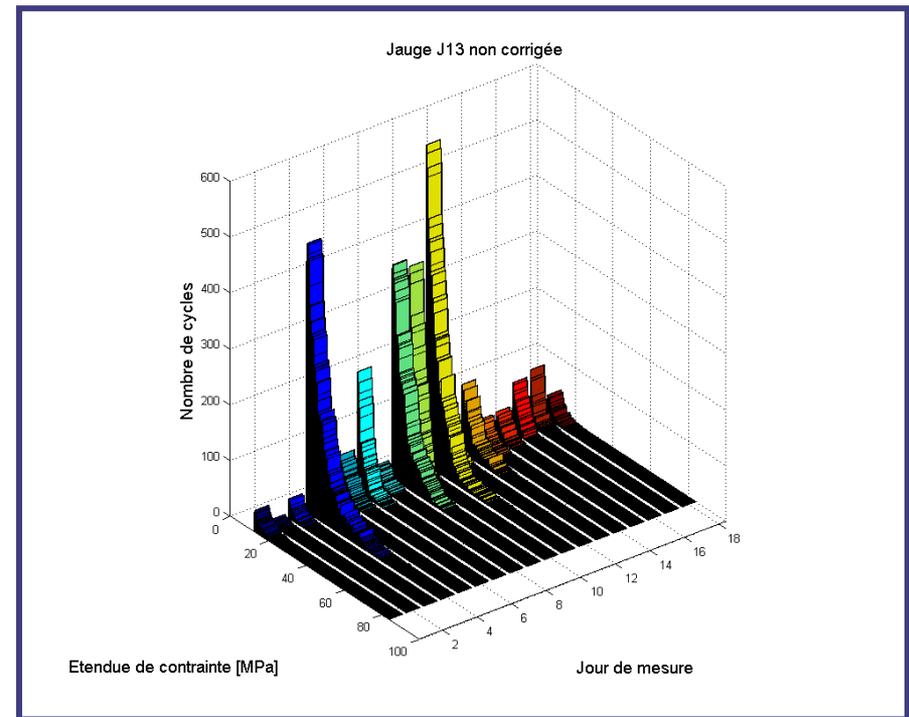
- Classe de détail critique : 71

## Durée de vie résiduelle

- Miner :  $68 - 22 = 46$  ans

## Prochaine inspection :

- 33 ans, soit dans 11 ans



# Reste à faire...

Guide (en cours de rédaction).

Chiffrage du coût des inspections ciblées (première estimation réalisée).

Processus de mise en place de l'inspection ciblée.

Identification de DIRs (ou autre MOA) tests.

# L'inspection ciblée vise à...

**Améliorer la gestion des ouvrages**

**Améliorer la connaissance de la performance des ouvrages**

**Collecter, documenter et maintenir des données de performance quantitative de qualité**

# Impacts espérés de l'inspection ciblée

Améliorer la connaissance de la performance des ouvrages.

Introduire des modèles prédictifs du vieillissement.

Faciliter une approche en cycle de vie.

Favoriser l'émergence de techniques non destructives d'inspection.

Contribuer au développement de la génération future des systèmes de gestion des ponts.

# Merci de votre participation

- Catherine Roux  
Cerema / Dter Méditerranée / Laboratoire d'Aix-en-Provence  
[catherine.roux@cerema.fr](mailto:catherine.roux@cerema.fr)
- Davy Prybyla  
Cerema / Dter Est / Laboratoire de Strasbourg  
[davy.prybyla@cerema.fr](mailto:davy.prybyla@cerema.fr)