

# Un exemple: le recalcul de diagnostic du pont de l'Europe à Avignon



# Présentation de l'ouvrage



- 2 ouvrages de franchissement du Rhône par la RN 100 : bras d'Avignon et bras de Villeneuve
- Pont en BP construits par encorbellements successifs
- Construction entre 1973 et 1975

- Longueur de chaque ouvrage : 222 m
- 3 travées :  
60,55 m–100,90 m–60,55 m, bras d'Avignon  
60,38 m–101,24 m–60,38 m, bras de Villeneuve
- Double caisson



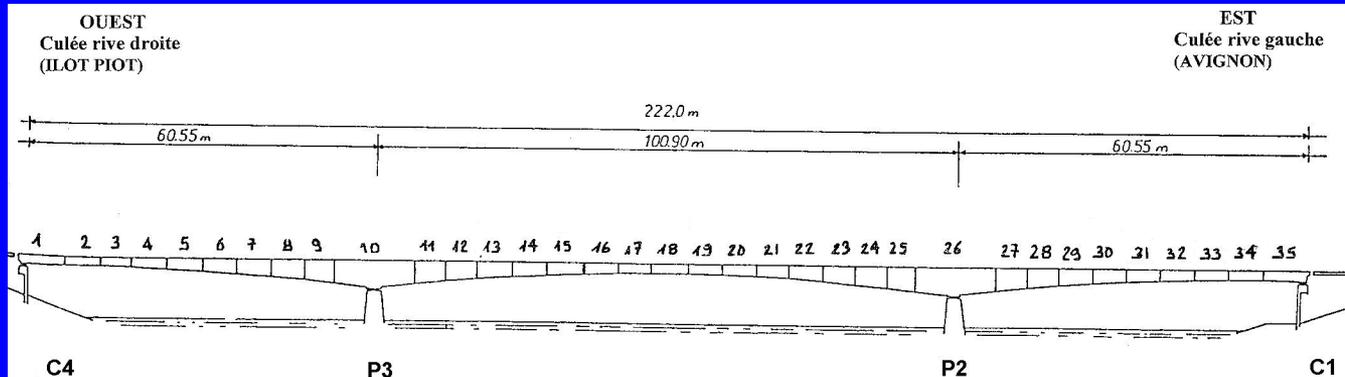


# La précontrainte

- Procédé BBR-B, acier dur de classe III TBR ,  $R_G=171 \text{ kg/mm}^2$ ,  $T_G=153 \text{ kg/m}^2$
- Câbles de fléau :  $52\phi 7$  ou  $54\phi 7$  ancrés dans le hourdis sup
- Câbles de continuité :  $29\phi 7$  ou  $30\phi 7$  dans le hourdis inf
- Etriers verticaux :  $9\phi 7$  ou  $18\phi 7$  dans les âmes  
(sur 80% de l'ouvrage)



# Le phasage de construction



- Construction simultanée des deux caissons à l'aide de deux équipages mobiles disposés à chaque extrémité de fléau
- Construction en 4 phases :
  - Phase 1 : construction du voussoir sur la pile P2 (voussoir n°26)
  - Phase 2 : construction des voussoirs courants en encorbellement constituant le fléau n°2 (voussoirs n°19 à 33)

Construction en parallèle du voussoir de culée rive gauche (voussoir n°35) coulé sur cintre

- Phase 3 : clavage en travée de rive gauche (voussoir n°34)
- Phase 4 : construction fléau n° 3 selon le même principe
- Phase 5 : clavage en travée centrale (voussoir n°18)

# La pathologie

Annexe n°10 - Relevé de la fissuration du pont de l'EUROPE (bras d'Avignon) en 1974 et 1975

FIGURE 3. Fissures dans le hourdis supérieur.  
plan n° E.C.19

Relevé le 2 avril 1975

Côté de Piet (Rive droite)

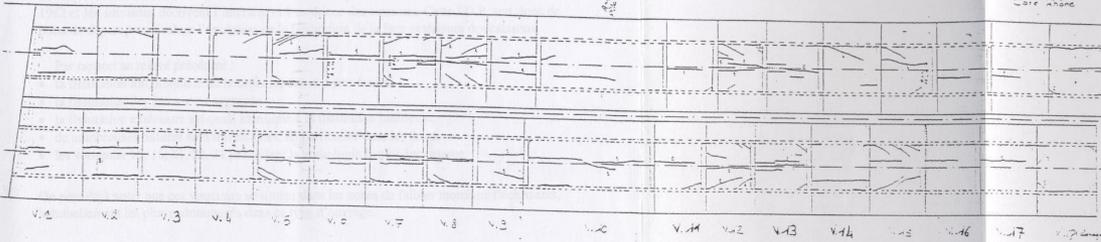
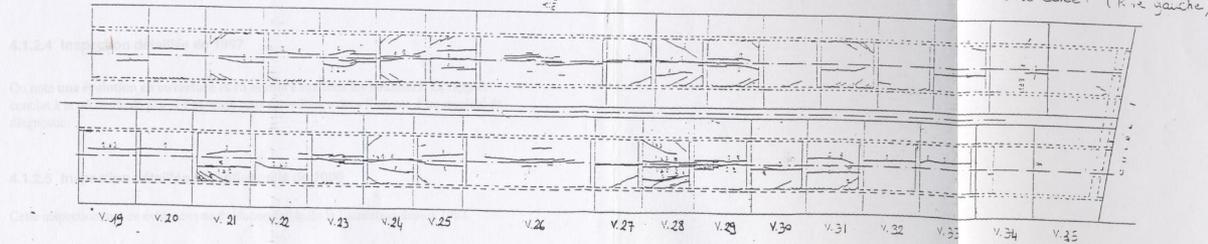


FIGURE 2. Fissures dans le hourdis supérieur.  
plan n° E.C.18

Relevé le 2 juillet 1974

Côté Rhône



REMARQUE: Les fissures observées de la table, comportent des traces d'effortement.

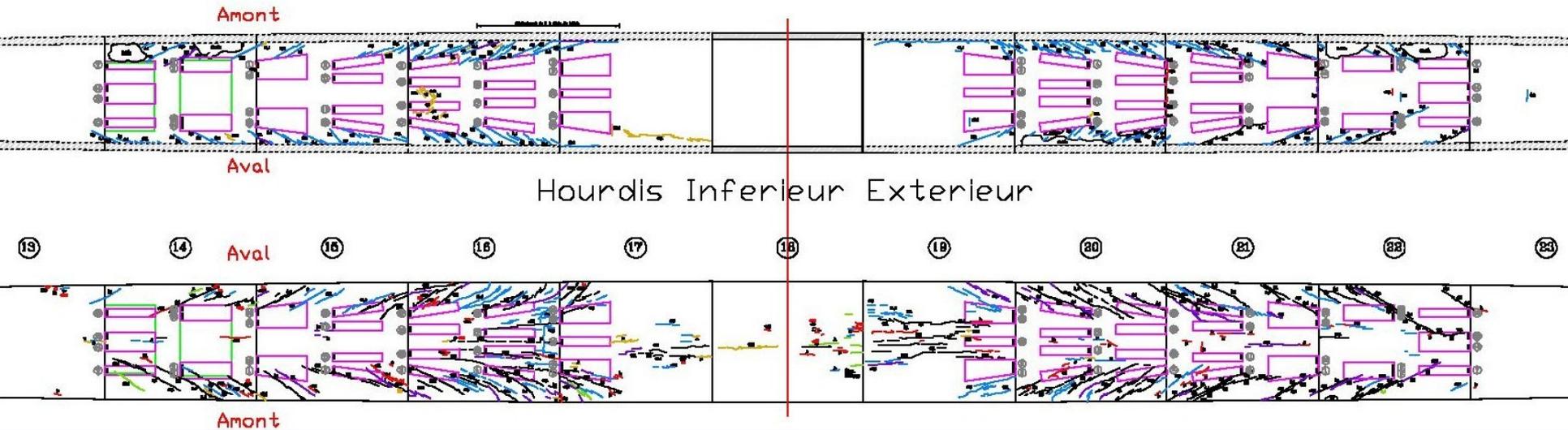
**Pendant la construction :**  
Nombreuses fissures fines (0.1 à 0.3 mm) dans le hourdis supérieur

- fissures long parallèles à l'axe du tablier,
- fissures obliques en arêtes de poisson

Pas de fissure dans le hourdis inférieur

# La pathologie

Hourdis Inferieur Interieur



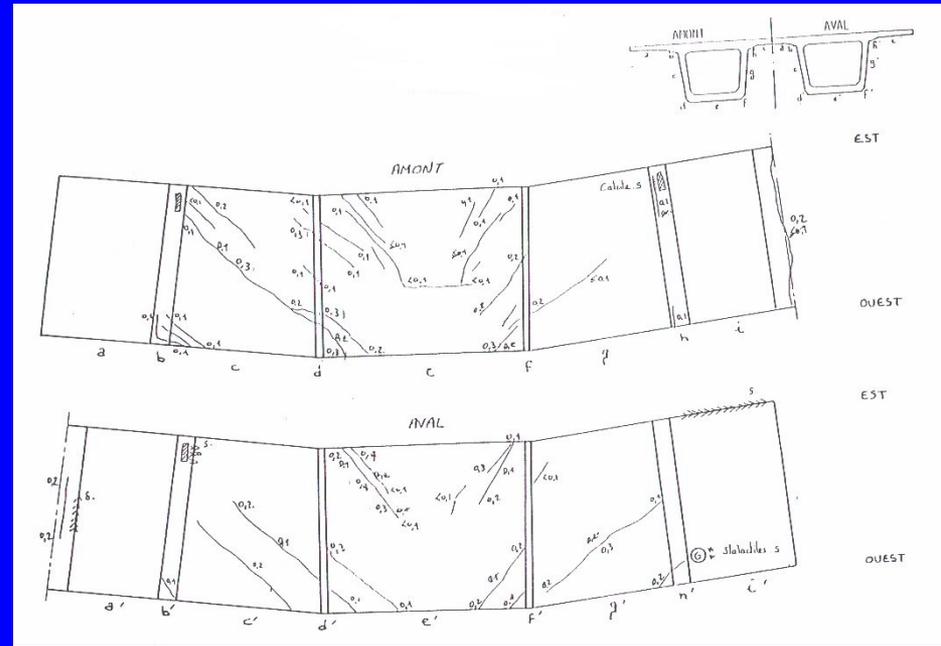
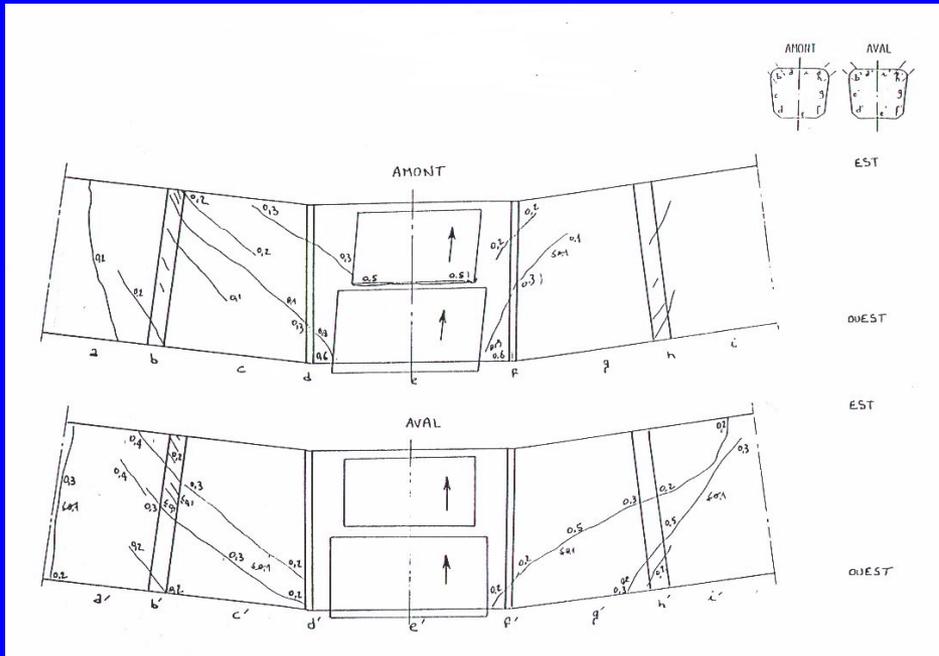
Inspections détaillées en 1982, 1990, 1977, 2000

Fissures obliques à l'intérieur des voussoirs (en arête de poisson) à l'arrière des ancrages, principalement en travée centrale (0.1 à 0.3 mm), en évolution, traversantes, se prolongeant dans les âmes.

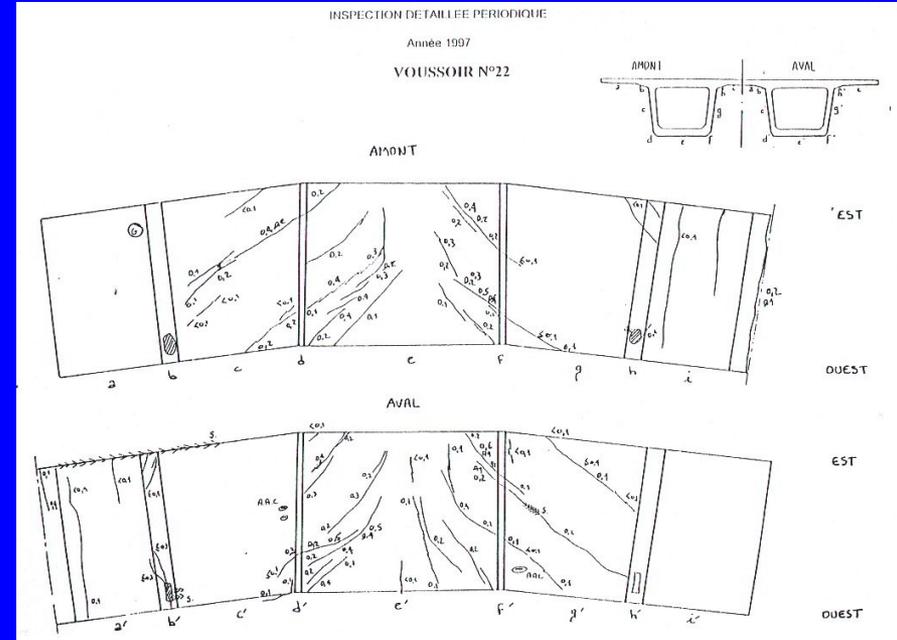
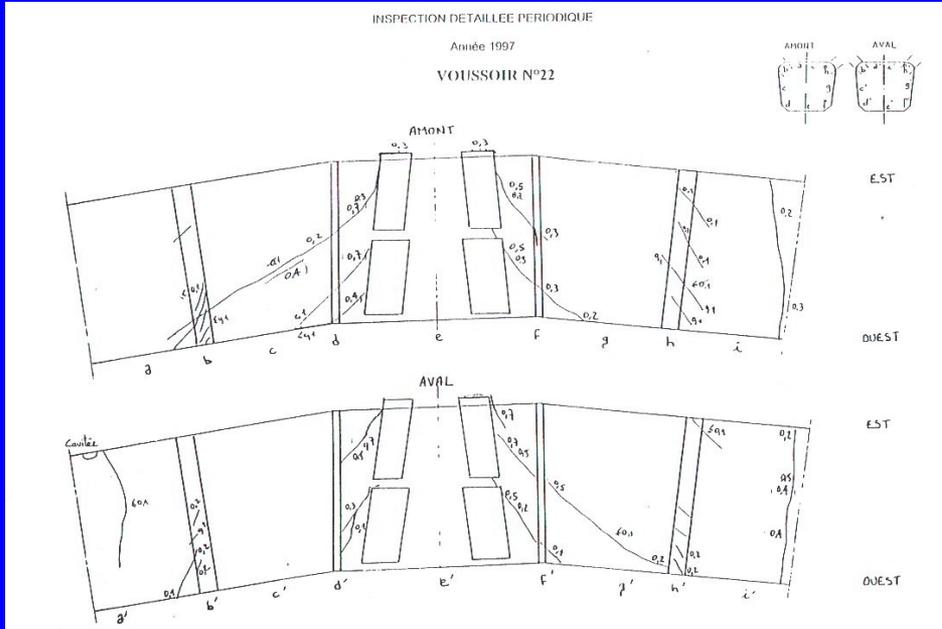
Découpe d'un cantilever inversé entre 2 voussoirs symétriques (16 et 22)

Pas d'évolution dans le hourdis sup

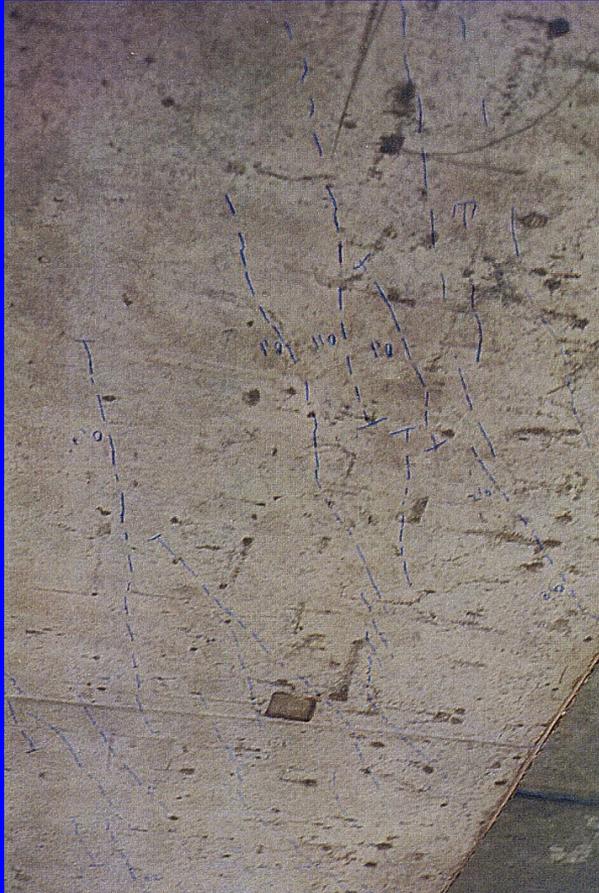
# La pathologie



# La pathologie



# La pathologie



## Diagnostic:

Hourdis supérieur: fissures de diffusion à la mise en tension

Hourdis inférieur: fissures d'entraînement derrière les bossages d'ancrages + insuffisance de résistance par rapport aux effets cumulés des cisaillements de diffusion et de flexion générale

# Investigations et études complémentaires

## **Etat de l'injection - campagne gama en 2000:**

pas de défaut d'injection, pas de symptôme de rupture de câble ou de détension (malgré une rupture découverte lors de l'IDP de 82)

## **Tension résiduelle dans les câbles – mesures à l'arbalète:**

Etriers verticaux: 14 fils testés sur des étriers de longueur différente:

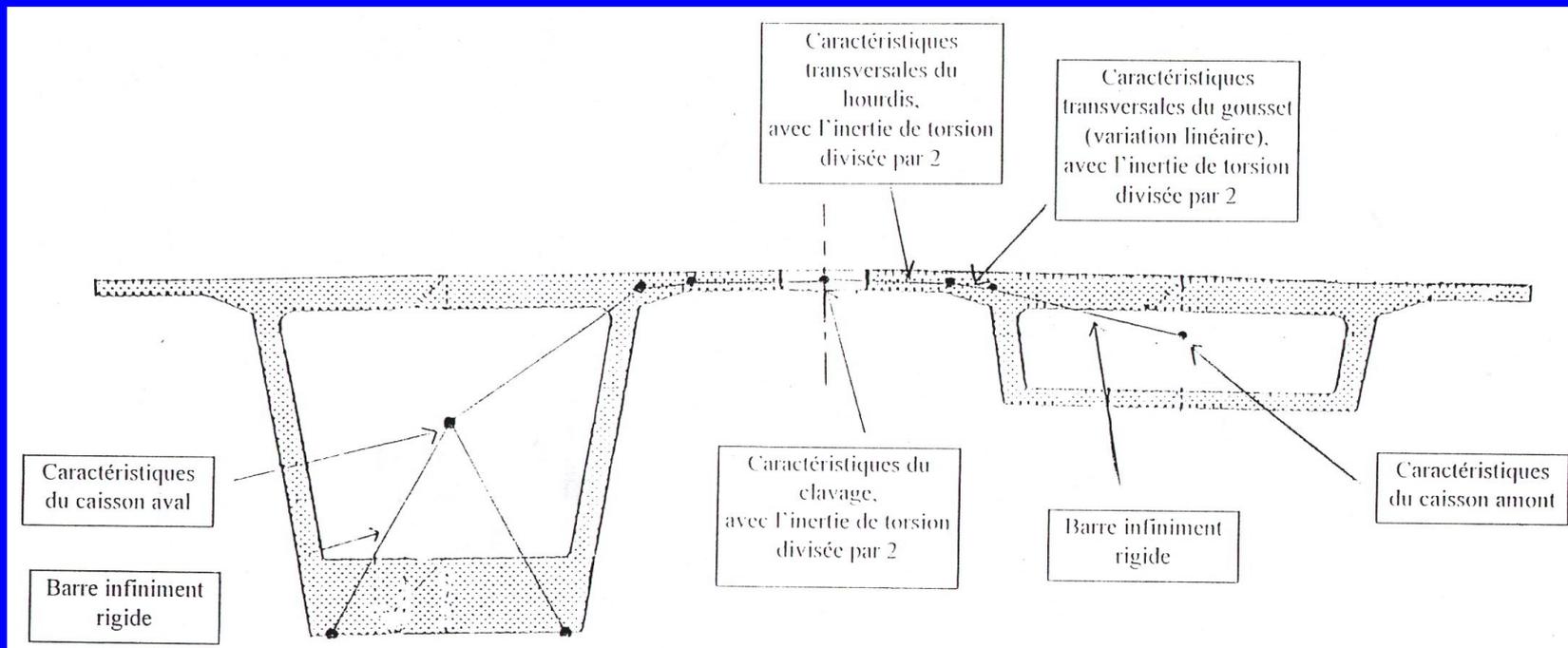
tension en moyenne 25% plus faible que dans la NDC d'origine, écart fonction de la longueur: pour 51 kN théorique: 41 pour  $l=4m$ , 35 pour  $l=3$ , 28 pour  $l=2$

Câbles longitudinaux: 5 mesures: moyenne de 40kN pour 46kN résultat du recalcul ST1

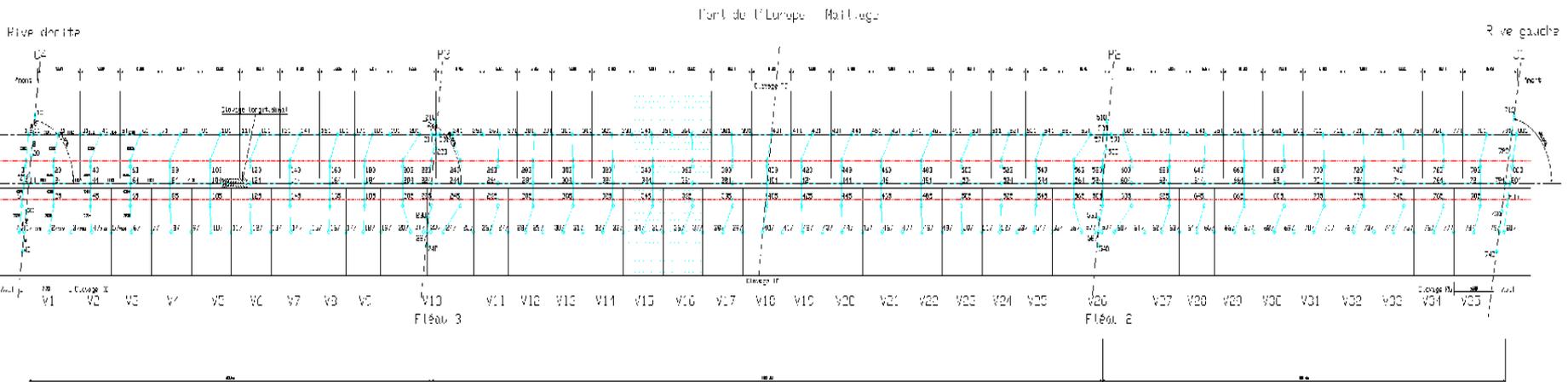
# Le recalcul du tablier - La modélisation

Objectif du recalcul: reproduire le plus fidèlement possible la réalité du fonctionnement du caisson pour justifier l'origine de la pathologie et la quantifier. Connaître les contraintes effectivement subies et les comparer aux contraintes admissibles par les matériaux. Approche différente de l'approche réglementaire.

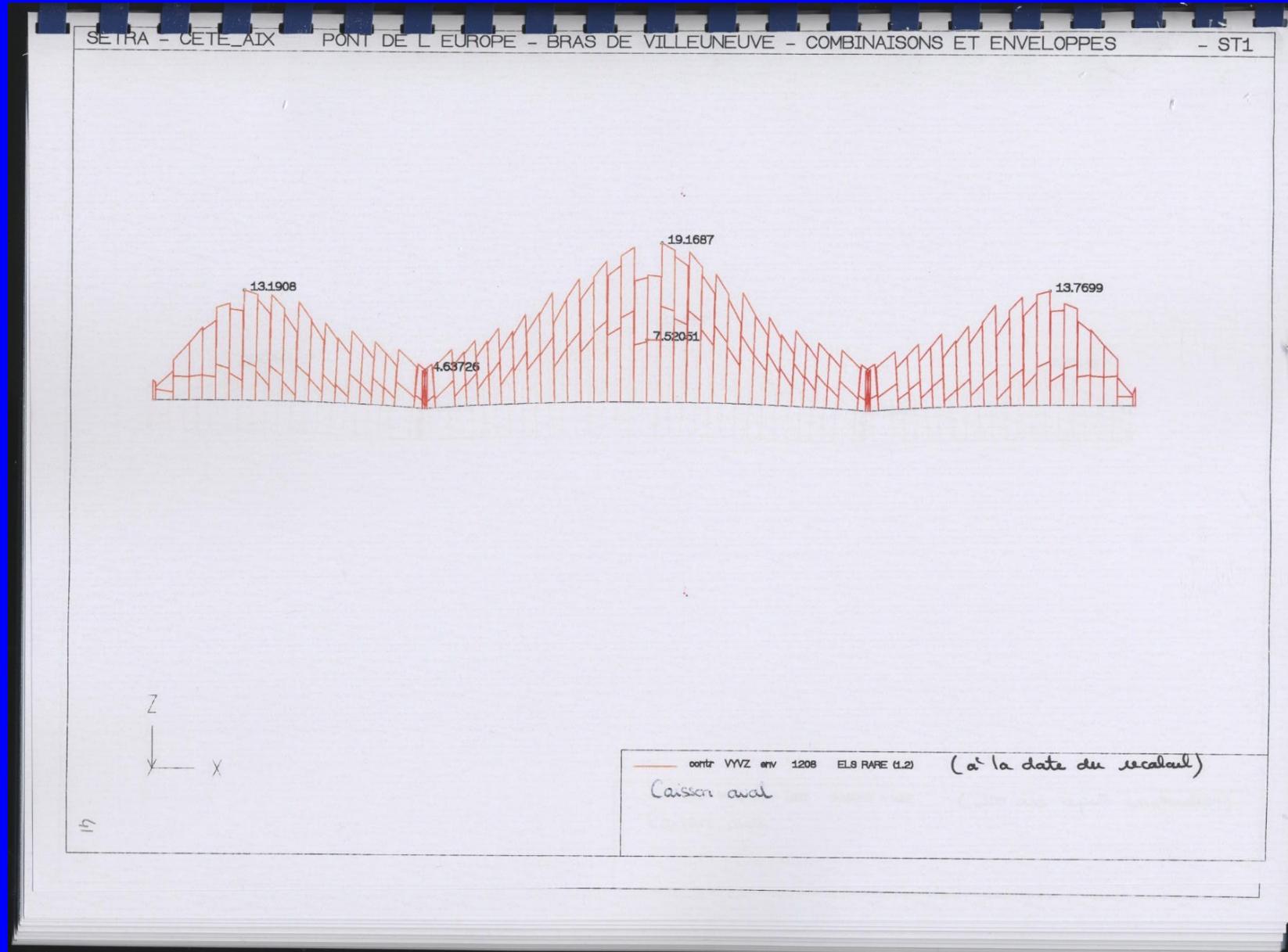
Modèle ST1 spatial, reproduisant finement le phasage de construction grâce à un dossier d'ouvrage très riche

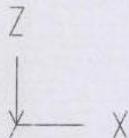
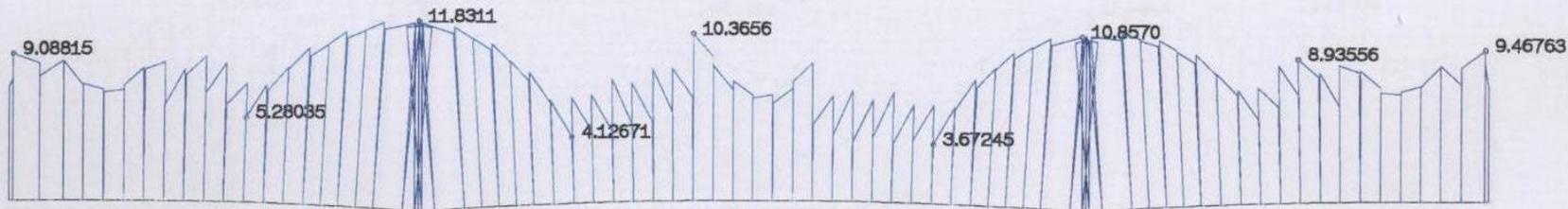


# Le recalcul du tablier - La modélisation

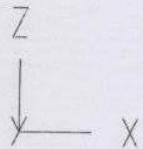
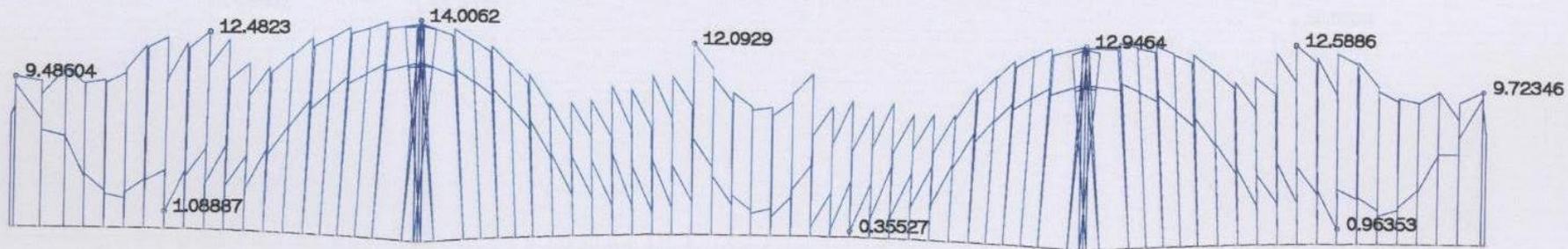


# Les résultats sous sollicitations longitudinales

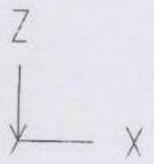
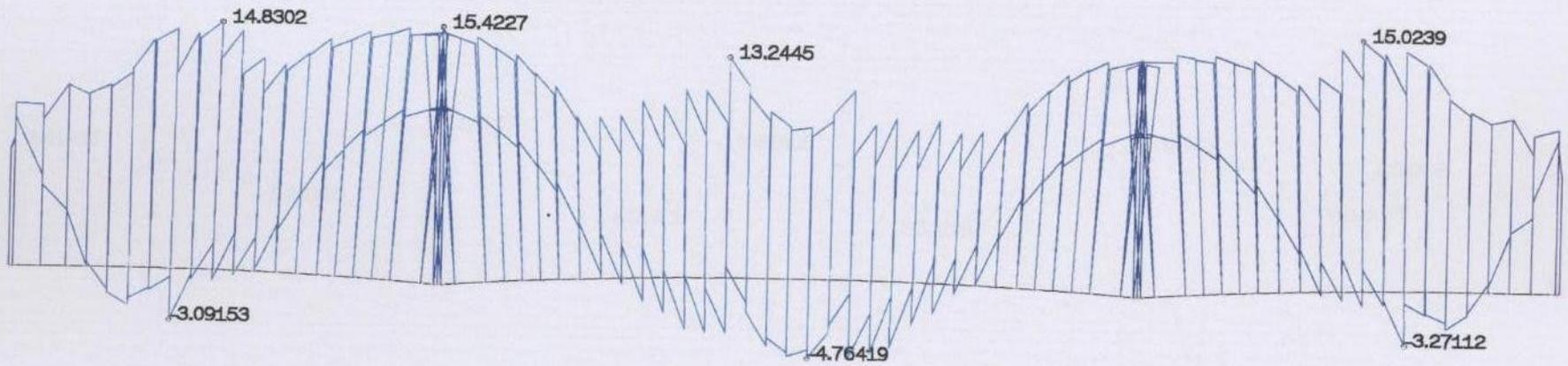




——— contre WYVZ env 1201 OUVRAGE A VIDE (à la date du recalcul)  
 (ouïsson aval)



— contr WYWZ env 1205 ELS FREQUENT (à la date du recalcul)  
 (Cuisson aval)



— contr WYWZ env 1208 ELS RARE (1.2) (à la date du recalcul)  
 (Caisson aval)

# Des vérifications en section fissurée

Pour les sections les plus sollicitées:

- vérification à l'ELS rare en classe III du BPEL
  - traction dans les aciers passifs 125 MPa (HA 14 e=25)
  - Surtensions dans les câbles de précontrainte : 118 MPa

⇒ Acceptable

- vérification à l'ELU: OK

## Les résultats généraux sous sollicitations tangentes (cumul cisaillements de flexion long et cisaillements de diffusion)

### A la construction du fléau:

Voussoir 15 et 16 hourdis supérieur: taux de cisaillement de 3 MPa, critère de fissuration dépassé => fissuration constatée du hourdis

### En service:

A vide: fissuration du bas de l'âme

Sous combinaison fréquente: fissuration hourdis inf, goussets sup et inf voire milieu de l'âme cisaillement 4.3 MPa, la contrainte dans les aciers passifs reste inférieure à la limite élastique

Sous combinaison rare: la fissuration atteint systématiquement le milieu de l'âme, cisaillements entre 4.3 et 5.3 MPa, la contrainte dans les aciers dépasse la contrainte admissible

# Le diagnostic

## Les enseignements tirés du recalcul

- La fissuration dans le hourdis est apparue dès la mise en tension des câbles de fléau lors de la construction en encorbellements,
- Décompression importante du hourdis inférieur
- Fissuration en arête de poisson due aux effets cumulés des cisaillements de flexion long et aux cisaillements de diffusion
- Les contraintes de traction, comme les contraintes de cisaillement maxi sont bien atteintes en travée centrale dans les voussoirs 15 et 16 les plus pathologiques
- La fissuration dans le hourdis inf a évolué au cours de la vie de l'ouvrage avec la décompression progressive du hourdis (fluage et pertes)

# Le diagnostic

## Les causes de la pathologie

- Tension dans les étriers
- Espacement des étriers (1.20m)
- Les conséquences du fluage plus fortes que dans la NDC d'origine,
- Le gradient thermique
- Des tensions effectives dans les câbles long peut être plus faibles que dans le calcul
- Ouvrage très « tiré » et dimensionné au plus juste
- Rechargements importants (reprofilage + chaussée)