

Journées techniques Ouvrages d'Art 2012

Sourdun - Mercredi 9 et Jeudi 10 mai

Fragilité à basse température des aciers d'anciens ponts suspendus

Intervenants :

Hervé Marneffe, Georges Burrier
PCI CMétalMB (CETE Est-LRNancy)

Dominique Cochet
PCI SD OA à Câbles (CETE Sud Ouest-LRBordeaux)

Sétra



IFSTTAR

Fragilité à basse température des aciers d'anciens ponts suspendus

- 1- Le Pont Rapilly – du Conseil Général Moselle
- 2 - AO – caractérisation aciers Pont de Chatillon sur Loire et Bonny sur Loire – Conseil Général du Loiret
- 3 - Hiver 2011/2012
- 4 - Campagne générale de caractérisations des aciers de ponts suspendus de 1985
- 5 - Effondrement du Pont de Sully sur Loire
- 6 - Conclusions et actions envisagées



Fragilité à basse température des aciers d'anciens ponts suspendus

- 1 - Le Pont Rapilly – du Conseil Général Moselle



RD52 / la Moselle (non naviguée) entre Hauconcourt et Ennery.
3 travées : 36m + 108m + 36m
largeur de chaussée : 6m
date construction : 1949



1a- Pathologies – du Pont Rapilly

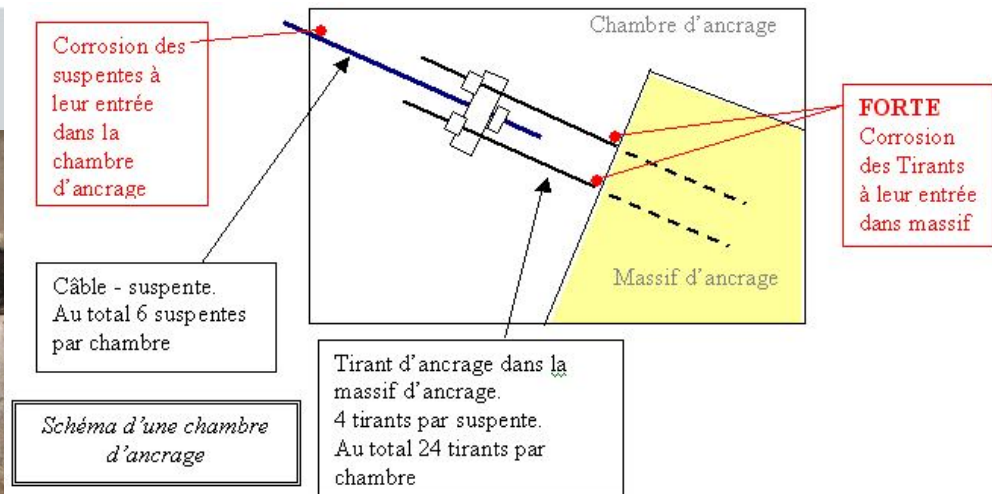


En dessous de 0°C , les 4 chambres d'ancrage sont chauffées.



1a- Pathologies – du Pont Rapilly

06 / 10 / 11 : suite à une inspection détaillée, le CG57 appelle le LRNancy pour un gros souci



Investigation urgente :

➤ Mesures des pertes de sections des 24 tirants x 4 chambres → *résultats*

➤ Décision de fermeture du pont et recalcul du pont

? n°1
D'autres ponts suspendus souffrent-ils du même désordre



- 1a- Pathologies – du Pont Rapilly

➤ Pour le recalcul : nécessité de connaître les caractéristiques mécaniques de l'acier des tirants (R_e , R_m , $A\%$)

NB : La campagne de caractérisation de 1985 (cf plus loin) de l'ensemble des aciers de ponts suspendus comprenait métallographie+analyse chimique+dureté+géométrie de filetage, ici pour 2 tirants.

- Ces essais avaient donné que ce pont a été jugé de risque 2 « risque de rupture fragile modéré sauf par température extrême » du fait des résiliences des tirants (6 niveaux de risque - ordre décroissant)

- Les essais de dureté (avec au préalable la chimie et/ou métallographie pour classer le type d'acier) permettent de donner une évaluation de $R_m = 560$ Mpa mais avec une dispersion +/- 85 Mpa (nf en iso 18265) ici ($HV_5 = 173$) pour ces aciers doux ($\% C = 0,19\%$).

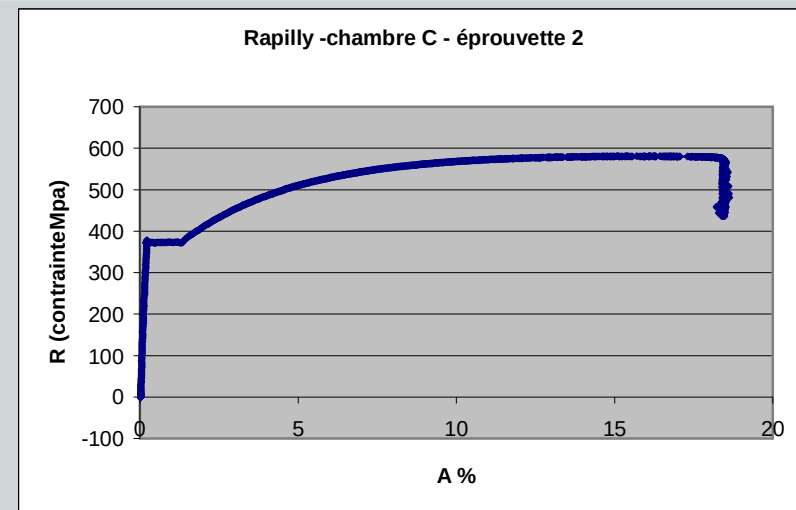
➤ Compte tenu de la pathologie et de l'enjeu → prélèvements de 3 morceaux de tirants (~1 par chambre..) et essais de traction sur 6 éprouvettes en os de chien



- 1a- Pathologies – du Pont Rapilly



Les résultats mécaniques sont groupés et **bons**. La limite à la rupture est concordante avec la dureté (celle de 1985 et celle mesurée sur les tirants)



RAPILLY - Essais de traction LRN du 24/10/11	Rm (Mpa)	Reh (Mpa)	A % allongement après rupture
moyenne	565	381.8	33.2
ecart type	10.4	5.8	0.5

moyenne - 2s = fractile 95%	544	370	32.3
-----------------------------	-----	-----	------

➤ 30 novembre 2011 : Le recalcul est réalisé par le BE Corédia. Suite à avis du Sétra, le CG57 ré-ouvre le pont au trafic léger avec mise sous surveillance renforcée de l'ouvrage



- 1a- Pathologies – du Pont Rapilly

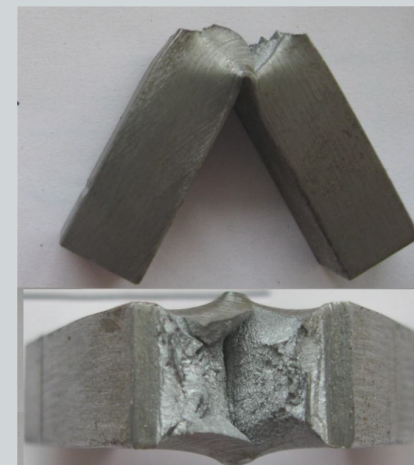
➤ Les autres investigations ont été aussi : dureté-métallographie + chimie + résilience pour différentes températures



Rupture fragile
de
-50°C à +30 °C



Rupture ductile
À partir de
+ 50°C

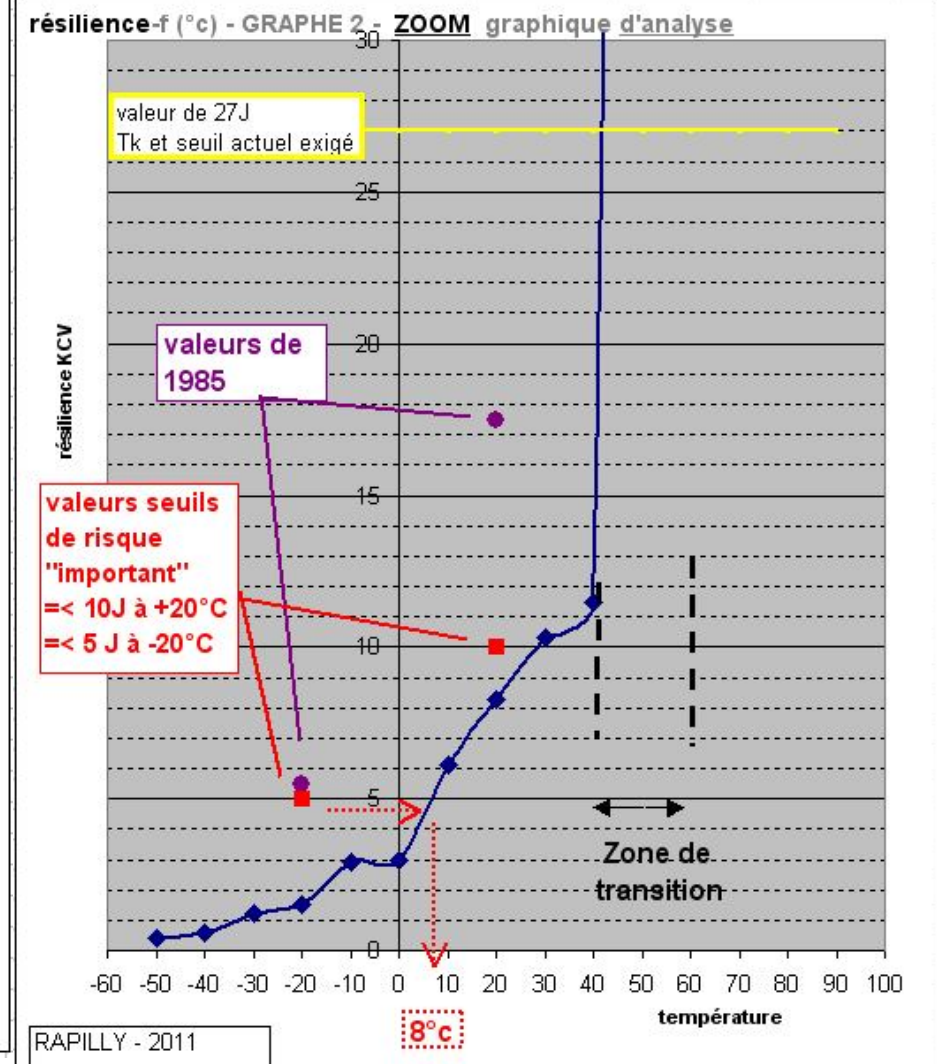
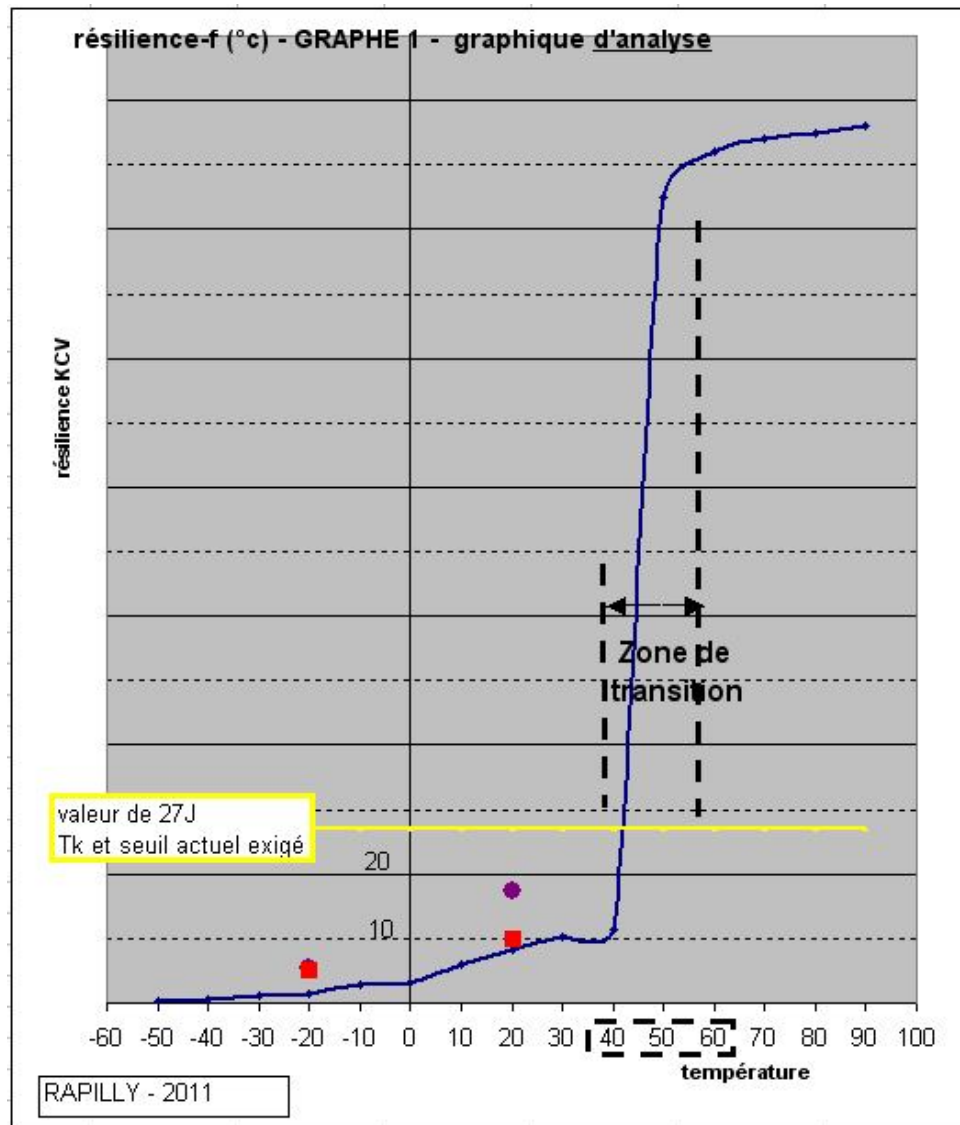


résilience

? n°

La résilience est très faible quelque soit la température extérieure. La pièce reste fragile.

ZOOM



1b- Suivi de Température par modules d'alarmes GSM - Pont Rapilly

➤ 30 novembre 2011 : l'hiver approche

Le CG 57 demande au LRN un système de télésurveillance des températures des tirants dans les chambres

- 1 module d'alarme GSM par chambre (soit 4 modules)
- Carte SIM de téléphonie mobile
- Programmation des seuils d'alarme via logiciel PC et connexion USB
- Alerte et interrogation par SMS
- 2 sondes de Température par module
- Coût: 200 € / Module



1b- Suivi de Température par modules d'alarmes GSM - Pont Rapilly

- Module GSM avec Sonde de Température



1b- Suivi de Température par modules d'alarmes GSM - Pont Rapilly

- Logiciel de configuration et SMS

GSM

GSM-Steuerungsmodul GX106

ONRAD.DE

Speichern D/E Hilfe Info

Allgemeine Einstellungen

4 SMS Ausgänge

4 Temperatur Ausgänge

1 Incall Ausgang

1 PWM Ausgang

2 Optokoppler Eingänge

1 ADC Eingang

Rückantwort / Fehler

Kommunikation

Abbrechen Beenden

Sensor 1 Sensor 2

Belegt ☒ Bereich ☒ Differenz ☐

125 °C

Min: 7 Soll: 10 Max: 40

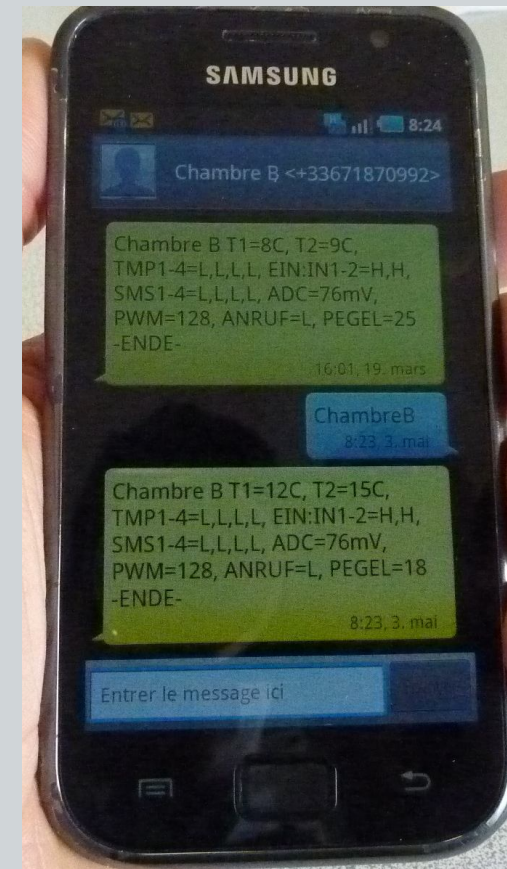
Meldung wenn Temperatur

oberhalb Max ☐

unterhalb Min ☐

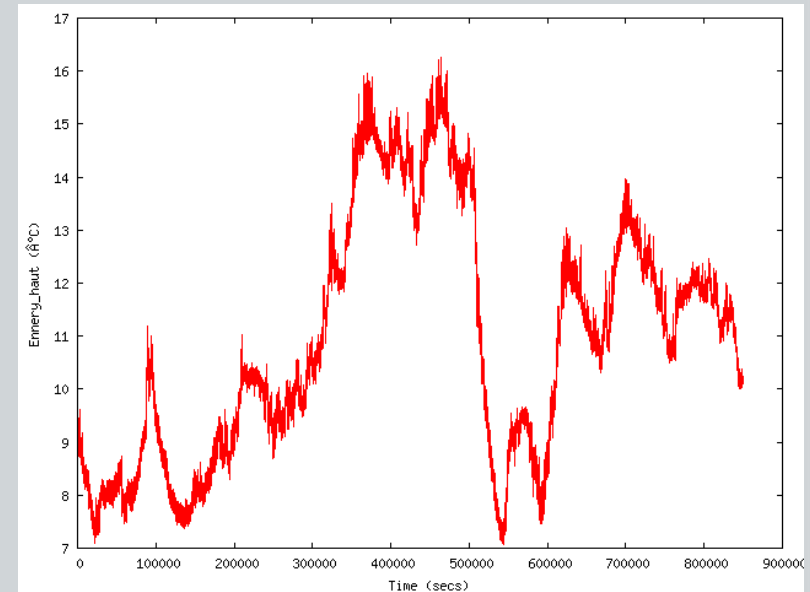
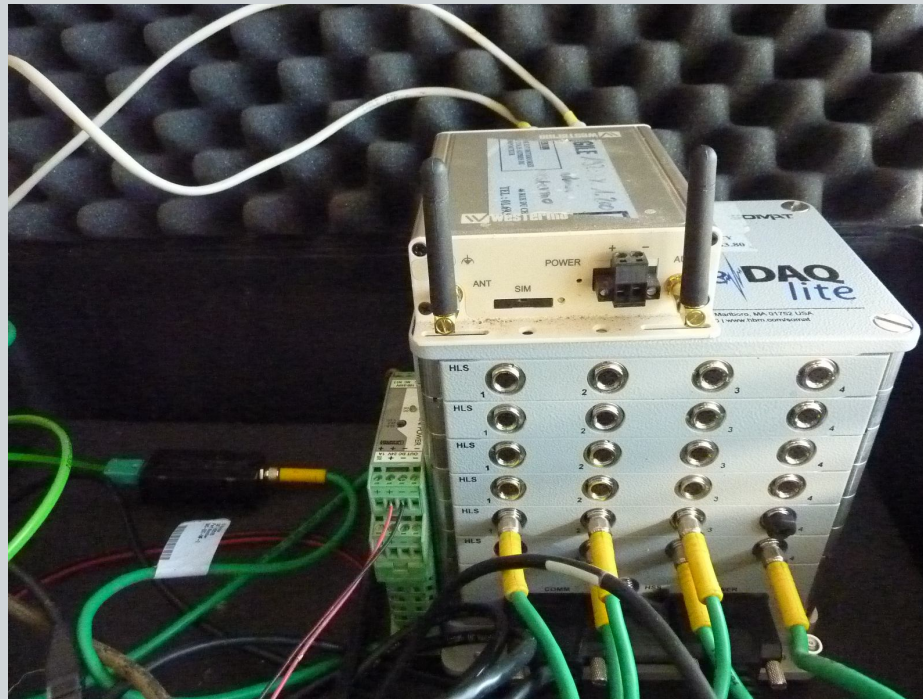
Meldung	SMS	Mail	Fax
an alle	☒	☐	☐
oder an	☒	☒	☒
	☒	☐	☐
	☒	☐	☐
	☒	☐	☐

-40



1b - Suivi de Température par centrale d'acquisition reliée par modem 3G

- Centrale HBM Edaq lite
- 1 capteur extérieur et 4 capteurs répartis dans 2 chambres



? n°2

La télésurveillance de la température ne serait-elle pas indiquée (à proposer) sur d'autres ponts suspendus.



Fragilité à basse température des aciers d'anciens ponts suspendus

2 - AO – caractérisation aciers Pont de Chatillon sur Loire et Bonny sur Loire – Conseil Général du Loiret

- Décembre 2011 : Le Conseil Général du Loiret publie un appel d'offre pour la caractérisation des aciers Pont de Chatillon sur Loire et Bonny sur Loire .



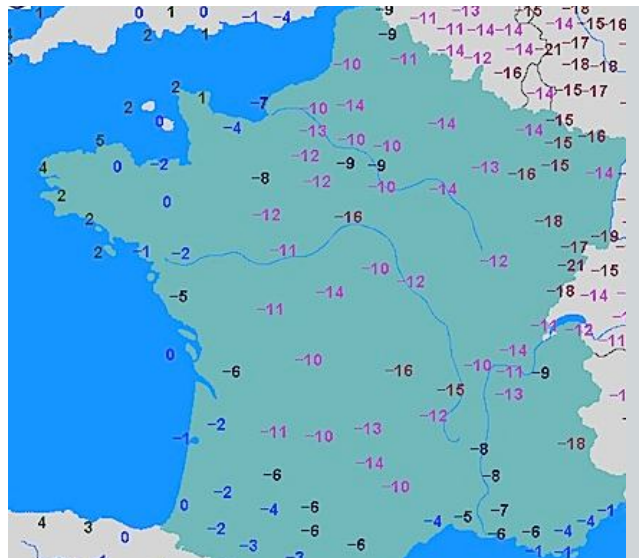
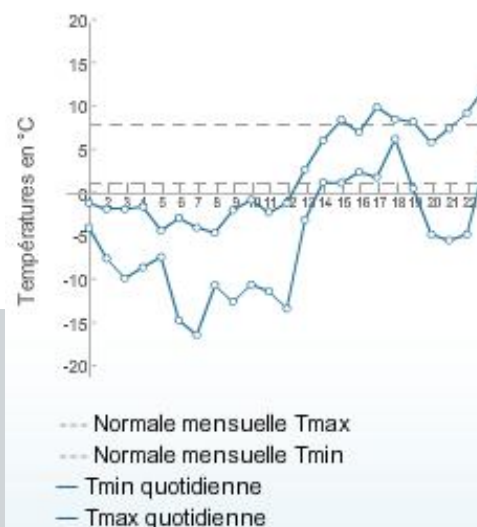
3 - Hiver 2011/2012

➤ L'hiver est là : GRAND FROID sur toute la France pendant 15 jours en février 2012

Hiver 2012 Orléans : -16,4°C le 07/02/2012

A l'échelle de la France, cet épisode est tout à fait exceptionnel : une telle vague de froid n'avait pas été observée dans le pays depuis janvier 1987. En termes d'intensité globale, il s'agit de la cinquième vague de froid la plus sévère observée depuis 1947 en France. Cette vague de froid qui a duré treize jours se caractérise aussi par sa durée relativement longue. Mais que ce soit en termes de durée ou d'intensité globale, elle reste malgré tout bien loin des vagues de froid historiques de février 1956, janvier/février 1963 et janvier 1985. Élément notable, le pic de froid maximal atteint au cours de cet épisode est resté assez modeste, comparé à ceux de la plupart des vagues de froid antérieures à la fin des années 1980.

Orléans, février 2012

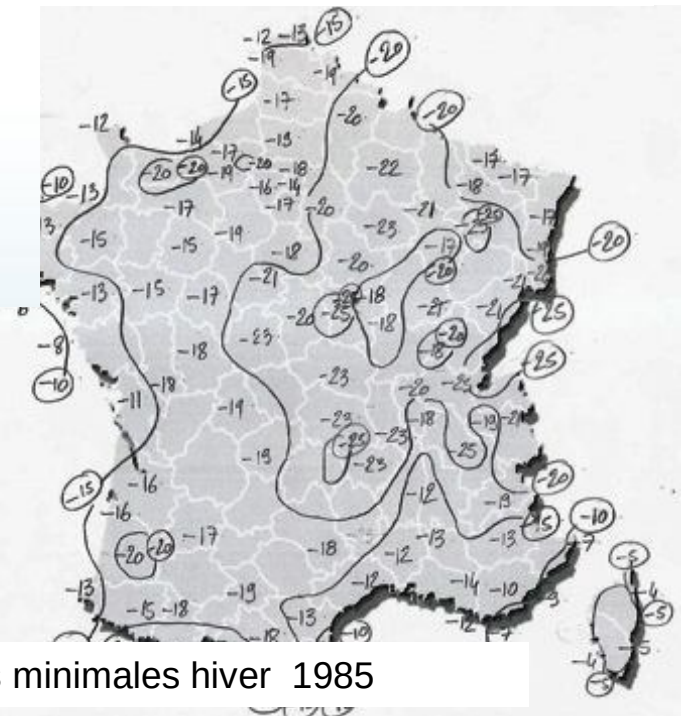


Températures minimales du 7 février 2012

Hiver 1985 :

Station Orléans-Bricy : -18,2°C
record de froid le 17/01/1985 (sur la période 1961-1990)

Effondrement du Pont de Sully sur Loire : -23 °C le 16/01/1985 à 07h40



Températures minimales hiver 1985

3 - Hiver 2011/2012

- L'hiver est là : GRAND FROID sur toute la France pendant 15 jours en février 2012

Hiver 2012

Orléans : minimale -16,4°C le 07/02/2012

→ Le CG Loiret ferme ses ponts suspendus.

Hiver 2012

Metz : minimale -14,8°C le 05/02/2012

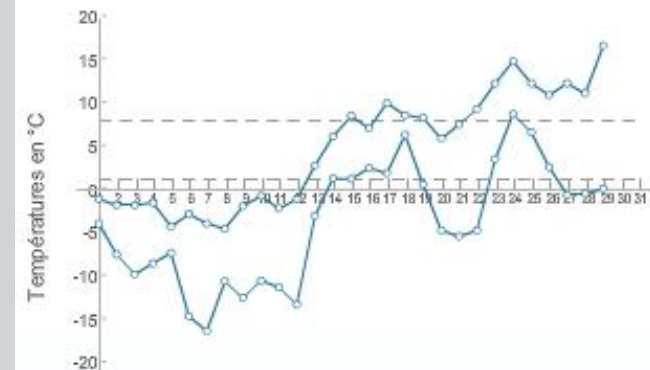
→ Le CG Moselle ferme le pont suspendu de Rapilly.

(La télésurveillance ayant montré que le chauffage ne parvient pas à relever suffisamment la température).

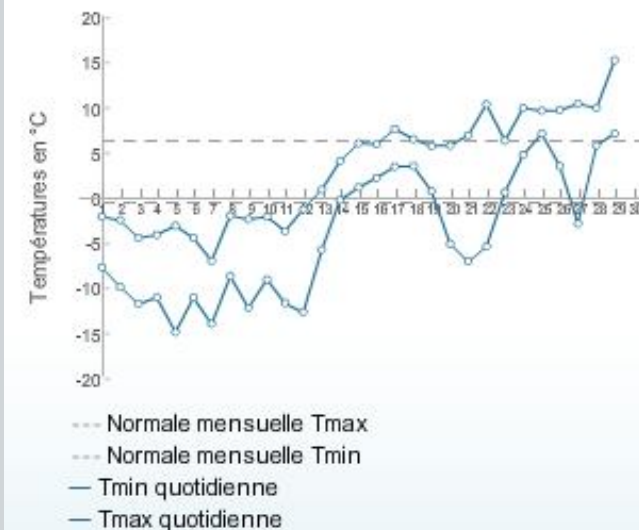
? n°3

Tous les gestionnaires de ponts suspendus anciens ont ils connaissance du problème de fragilité à basse température et des mesures d'exploitation (fermeture).

Orléans, février 2012



Metz-Frescaty, février 2012



4 - Campagne générale de caractérisations des aciers de ponts suspendus de 1985-88 – suite à l'effondrement de Sully

- Menée par le LRNancy – JP Persy
- Quelques chiffres : Tous les ponts suspendus ont été analysés

129 ponts suspendus

44 départements concernés

390 prélèvements pour analyse chimique
+ dureté + résilience + géométrie de
filetage

	prélèvement et analyse chimique + dureté + résilience
étrier câbles de tête	20
ancrage câbles paraboliques	194
ancrage câbles de retenue	20
étrier suspente	40
suspente en barre	79
étriers divers	30
haubans	1
étrier hauban	6
TOTAL	390



Fragilité à basse température des aciers d'anciens ponts suspendus

4 - Campagne générale de caractérisations des aciers de ponts suspendus de 1985-88 – suite à l'effondrement de Sully

➤ Quelques chiffres : Tous les ponts suspendus ont été analysés et classés

signification des classes :							
RISQUE	documents de référence		résilience				
	JP Persy	JP Gourmelon	KV -20°C	KV +20°C			
1	A	III	$\leq 5 \text{ J}$	$\leq 10 \text{ J}$	risque de rupture fragile important à basse température		
2	B	IIa	"	$> 10 \text{ J}; \leq 20 \text{ J}$	risque de rupture fragile modéré sauf par température extrême		
3	C	IIb	"	$> 20 \text{ J}$	risque de rupture fragile modéré sauf par température extrême		
4	D	Ia	$> 5; \leq 10 \text{ J}$	$\leq 20 \text{ J}$	risque faible		
5	E	Ib	"	$> 20 \text{ J}$	risque faible		
6	F	Ic	$> 10 \text{ J}$	$> 20 \text{ J}$	risque faible		

RISQUE	sur 390		sur 390	
	prélèvements		prélèvements	
1	80		risque	
2	60		important à	168
3	28		modéré	
4	68			
5	88		risque faible	222
6	66			

Sur les 129 ponts :

60 ont un prélèvement en R1

93 ont un prélèvement soit R1 ou R2 ou R3

Et donc

36 n'ont que des parties $\geq R4$ (risque faible)



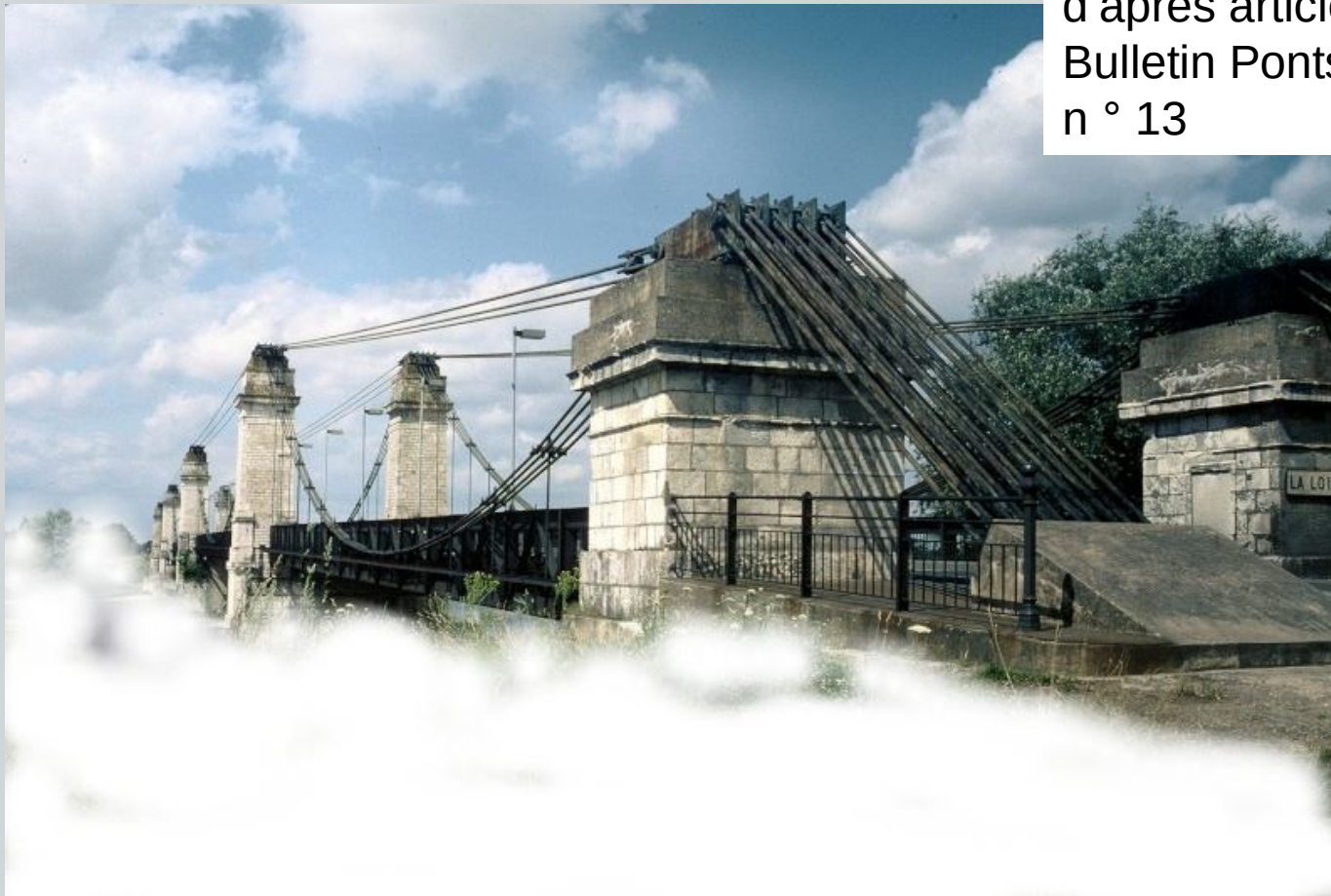
5 - Effondrement de Sully sur Loire

-23 °c

le 16/01/1985

à 07h40

Cinématique retracée
d'après article de JP Persy
Bulletin Ponts Métalliques
n ° 13



5 - Effondrement de Sully sur Loire

-23 °c le 16/01/1985 à 07h40, un camion s'engage sur le pont



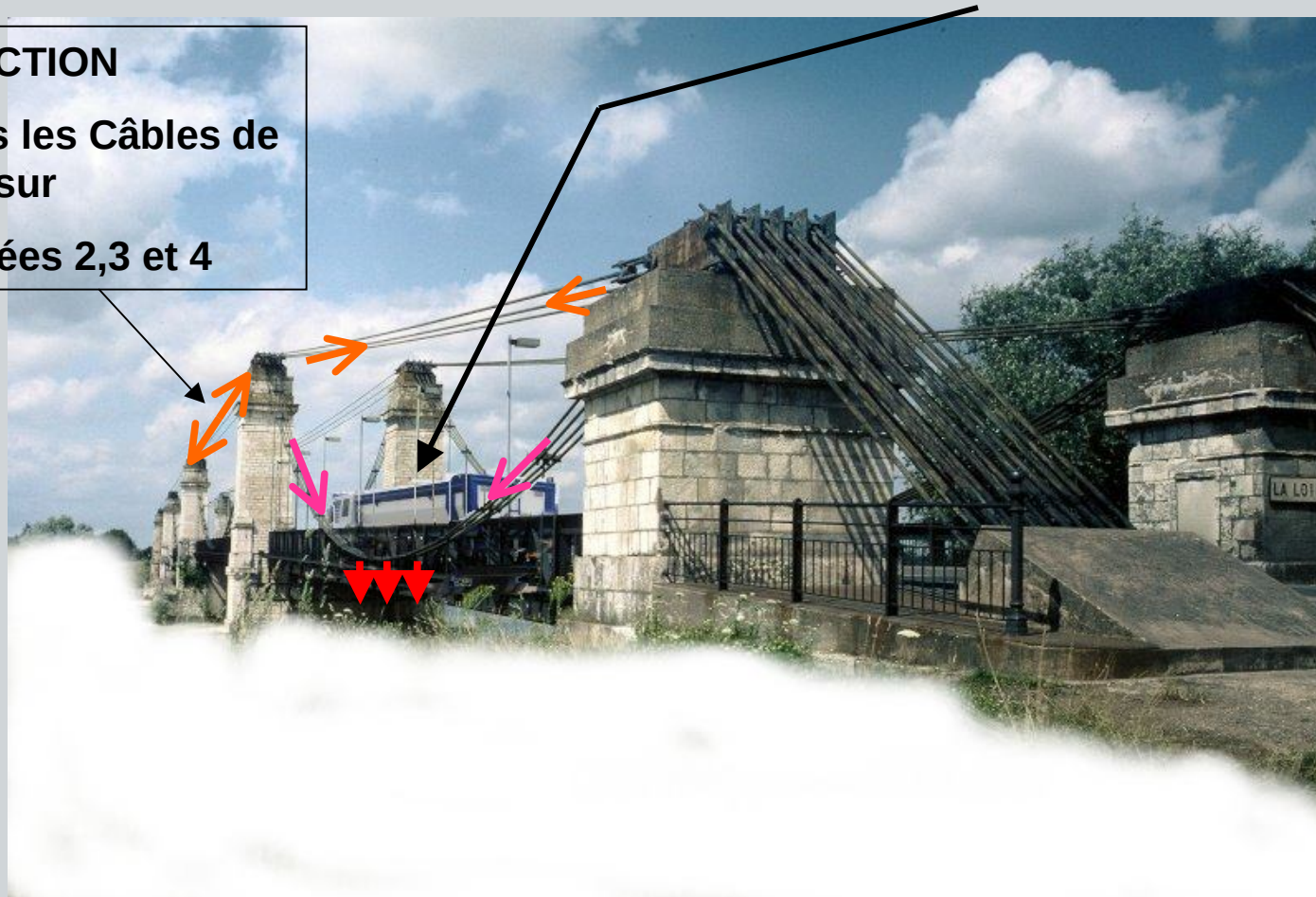
5 - Effondrement de Sully sur Loire

-23 °c le 16/01/1985 à 07h40, un camion s'engage sur le pont

TRACTION

Dans les Câbles de
tête sur

Travées 2,3 et 4



5 - Effondrement de Sully sur Loire

1/ Rupture d'une attache (**fragile**) de câble

2/ désaxement selle d'appui et échappement d'un câble T1



5 - Effondrement de Sully sur Loire

3/ le câble T1 fouette et casse une suspente (**fragile**) et une partie de la membrure inf (**fragile**) de la travée 1



5 - Effondrement de Sully sur Loire

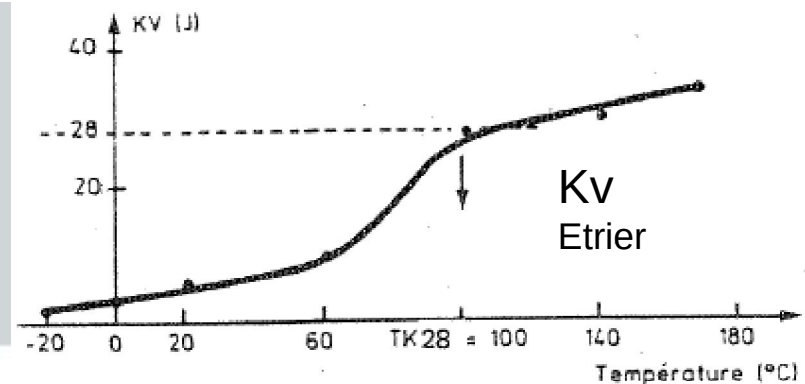


Hervé Marneffe, Georges Burrier, Dominique Cochet

Effondrement doublement dû à la fragilité des aciers :

- Rupture des tirants d'attache de câble de tête
- Effondrement car ensuite rupture d'une suspente et d'une membrure de poutre treillis

Température d'essai (°C)	Étrier (KV) (J)	Suspente (KV) (J)
- 60	1,5	
- 20	2,5	4
0	4	4,5
+ 20	6	7
+ 60	9	
+ 100	28	
+ 140	30	
+ 170	34	



5 - Effondrement de Sully sur Loire



?

La résilience est très faible quelque soit la température extérieure. La pièce reste fragile.

-n°4 : une inspection spécifique (ciblée) (par magnétoscopie fluorescente) des tirants (zone derrière les écrous) (avec le doute que si fissure détectable alors il y aurait rupture...)

-n°5 : une télésurveillance des contraintes par extensomètre encapsulée sur tirant pour mesurer (// calcul) les contraintes dues aux effets thermiques sans doute fort élevées.



6 - Conclusions et actions envisagées

? n°1 - corrosion masquée de tirants ou de selles d'appui

Communiquer auprès des gestionnaires ou se faire communiquer la dernière inspection.

? n°3

Communiquer auprès des gestionnaires de ponts suspendus anciens sur la fragilité à basse température et les mesures d'exploitation (fermeture, chauffage, télésurveillance) (un rappel)...

? n°2

La télésurveillance de la température ne serait-elle pas indiquée (à proposer) sur d'autres ponts suspendus.

? Se re-pencher sur le problème : La résilience est très faible quelque soit la température extérieure. Des pièces restent constamment fragiles d'où un risque fort.....

-n°4 : une inspection spécifique (ciblée) (par magnétoscopie fluorescente) des tirants (zone derrière les écrous) (avec le doute que si fissure détectable alors il y aurait rupture...)

-n°5 : une télésurveillance des contraintes par extensomètre encapsulée sur tirant pour mesurer (// calcul) les contraintes dues aux effets thermiques sans doute fort élevées.

Merci pour votre attention

