



# IMGC

## L'INSTRUMENTATION AU SERVICE DES OUVRAGES DE GÉNIE CIVIL

Journée Technique  
MARDI 13 JUIN 2023  
FNTP – 3 Rue de Berri, 75 008 PARIS



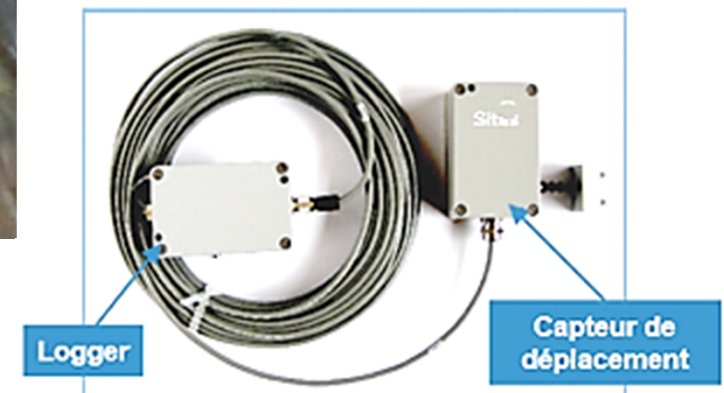
# La position du Maître d'ouvrage : quelle prestation pour quel risque ?

Jean-François DOUROUX  
RATP Infrastructures

# Sommaire

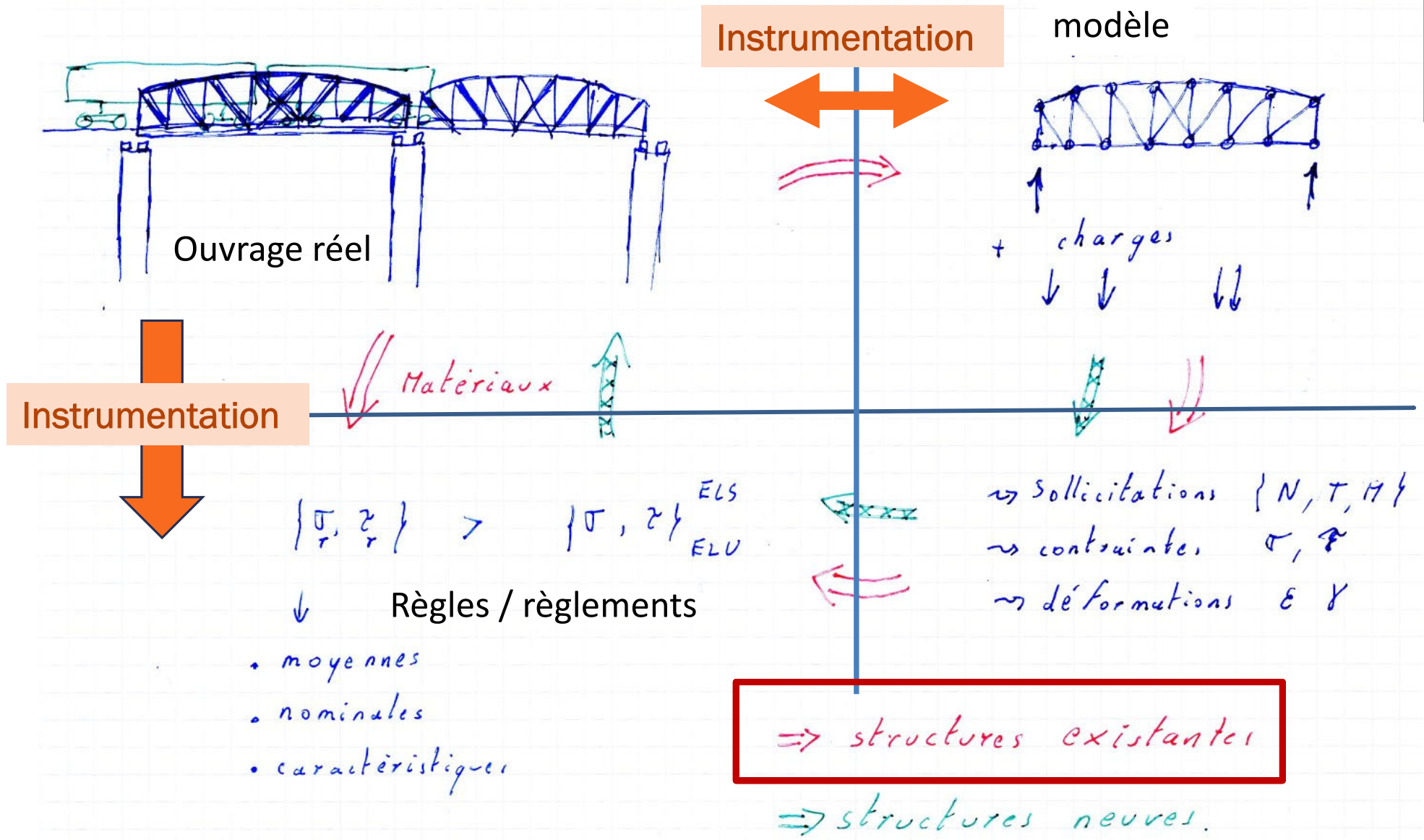
- Une meilleur compréhension d'un ouvrage
  - *Suivre une évolution*
  - *Déterminer le niveau réel de sollicitation d'une partie d'ouvrage*
  - *Préparer des travaux*
- La haute surveillance: pourquoi, comment ?
  - *se prémunir d'un risque identifié à survenance potentiellement rapide*

# Le suivi des ouvrages : évolution ?



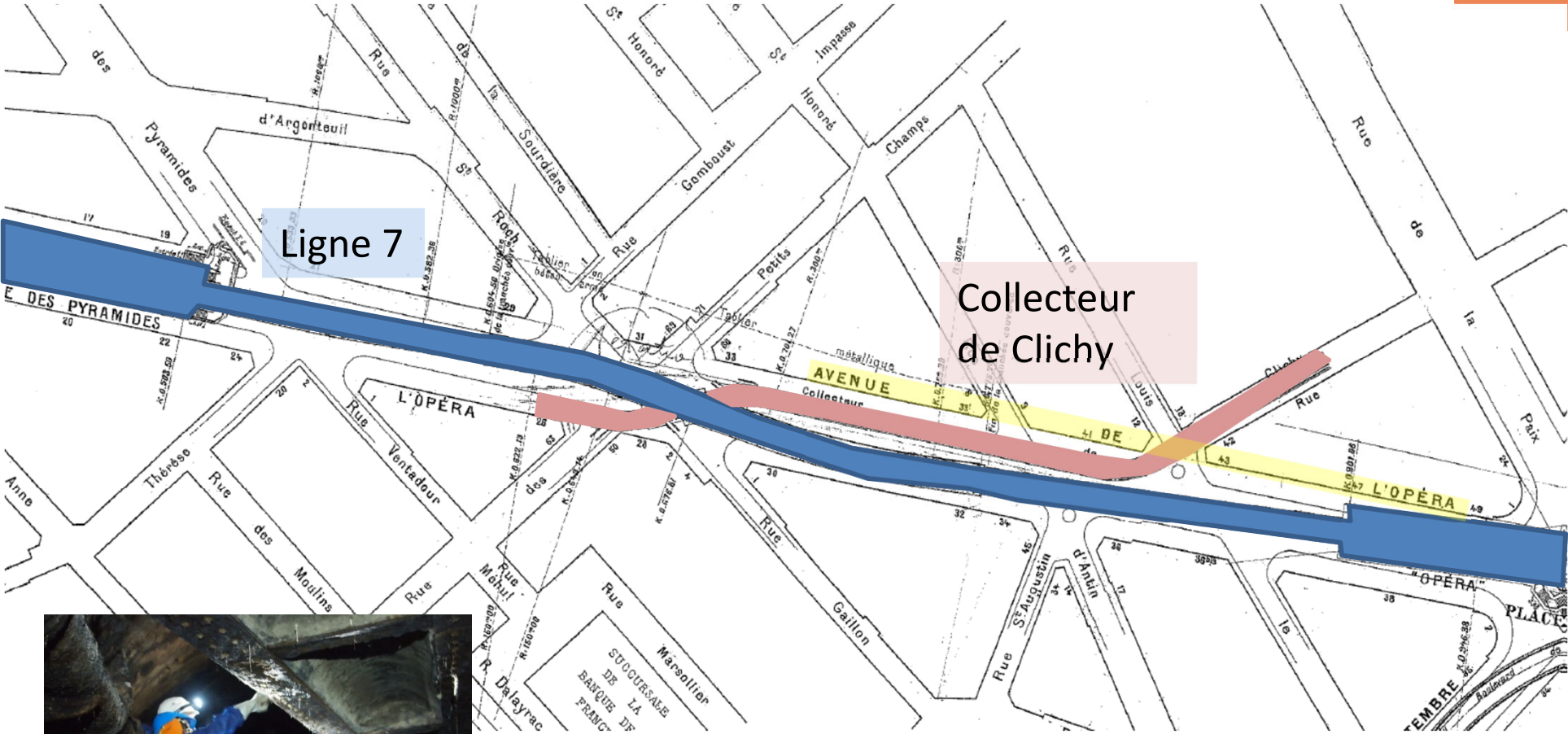
Exemple de fissurologger

# Les ouvrages existants : évaluation

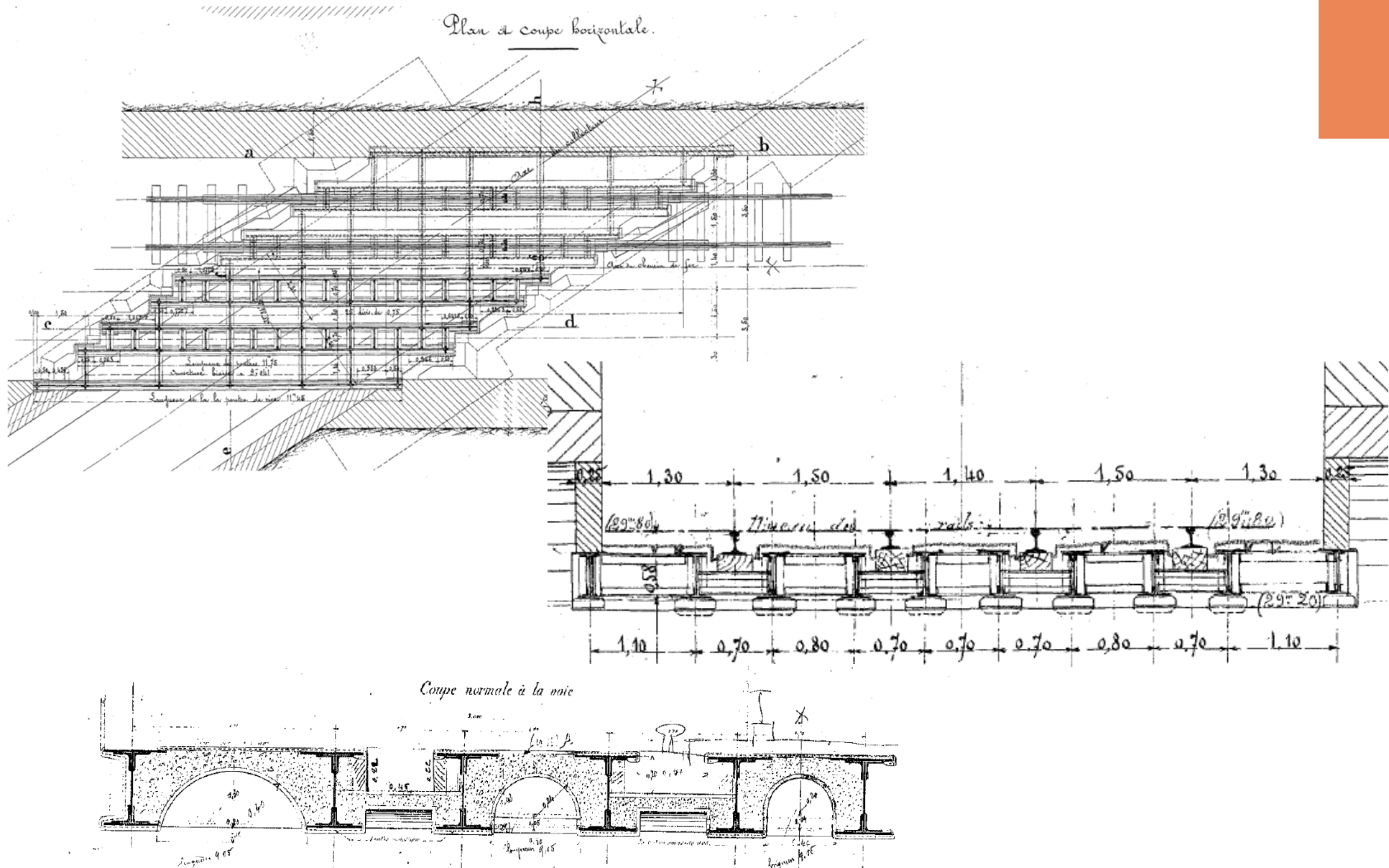


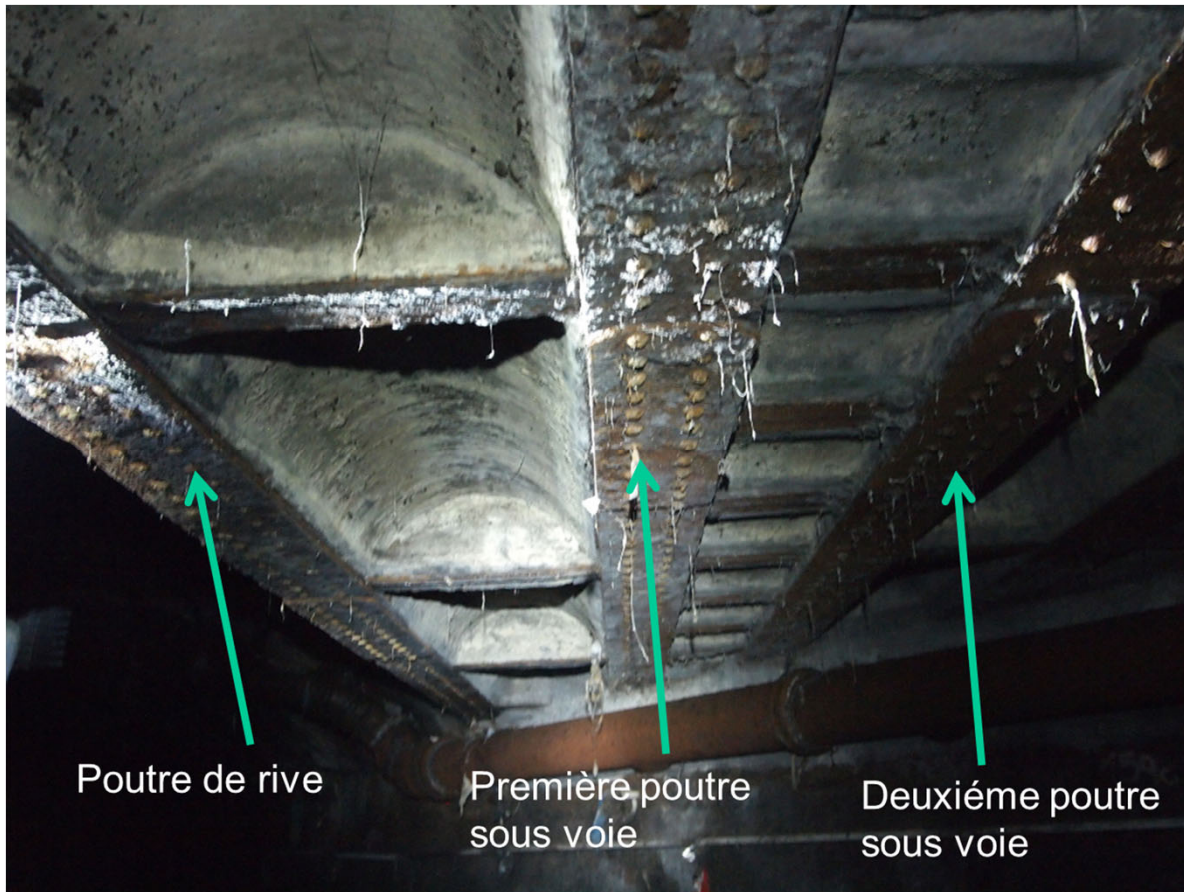
# L07 – Franchissement du Collecteur de Clichy

## Plan de situation



# Plans de l'ouvrage - 1910







# Recalcul de l'ouvrage

Type de convoi envisagé	Charge à l'essieu (T)	Espacement entre bogies (m)	Contrainte avec section d'origine (kg/mm <sup>2</sup> )	Contrainte avec section amoindrie (kg/mm <sup>2</sup> )	Limite élastique
<b>Convoi type 1932</b> (convoi réglementaire utilisé pour les vérifications des ouvrages du métro)	15	2,25	24,13	sans objet	24
<b>Rame MF77</b> <i>avec coefficient dynamique</i> En exploitation sur la L7	11,3	2,20	20,23	24,10	24
<b>Train travaux</b> <i>avec coefficient dynamique</i>	15	1,80	<b>28,96</b>	<b>35,38</b>	24
<b>Train travaux</b> <i>sans coefficient dynamique</i>	15	1,80	<b>25,11</b>	<b>29,11</b>	24

## Sections réduites (-4 mm pour les deux poutres de rive et -2 mm pour les deux poutres adjacentes)

Type de chargement	Contrainte-fibre supérieure- à l'ÉLU (MPa)	Contrainte-fibre inférieure - à l'ÉLU (MPa)-	Localisation de la contrainte extrême dans le modèle
Train type 1932 (avec coefficient dynamique)	235	-237	Mi-travée de la Barre SB
Train travaux (sans coefficient dynamique)	209	-219	Mi-travée de la Barre SB
Train travaux (avec coefficient dynamique)	260	-275	Mi-travée de la Barre SB

# Instrumentation de l'ouvrage

## b. Implantation des jauges

Les 10 jauges de déformations sont installées sur les 10 poutres aciers (P1 à P10)

Les 3 capteurs de température sont ajoutés au niveau des poutres P1, P5 et P10.



- Capteur de température
- Jauge de déformation
- Perçage pour traversée
- Câble armé
- Système de mesure

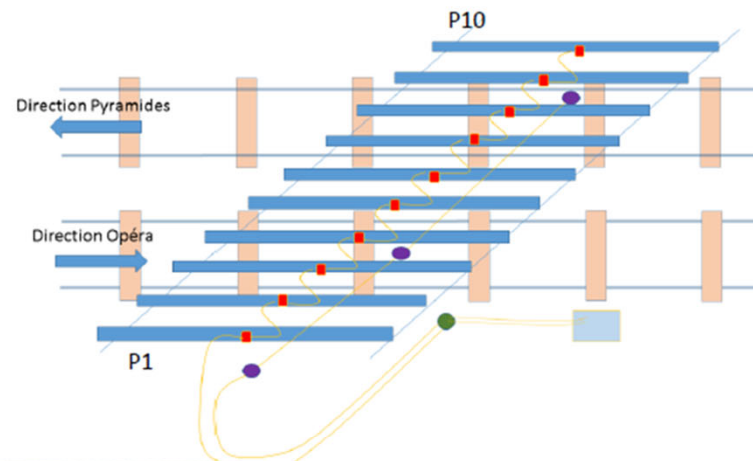


Figure 3 : Collage sur support poncé nettoyé et dégraissé

# Instrumentation de l'ouvrage

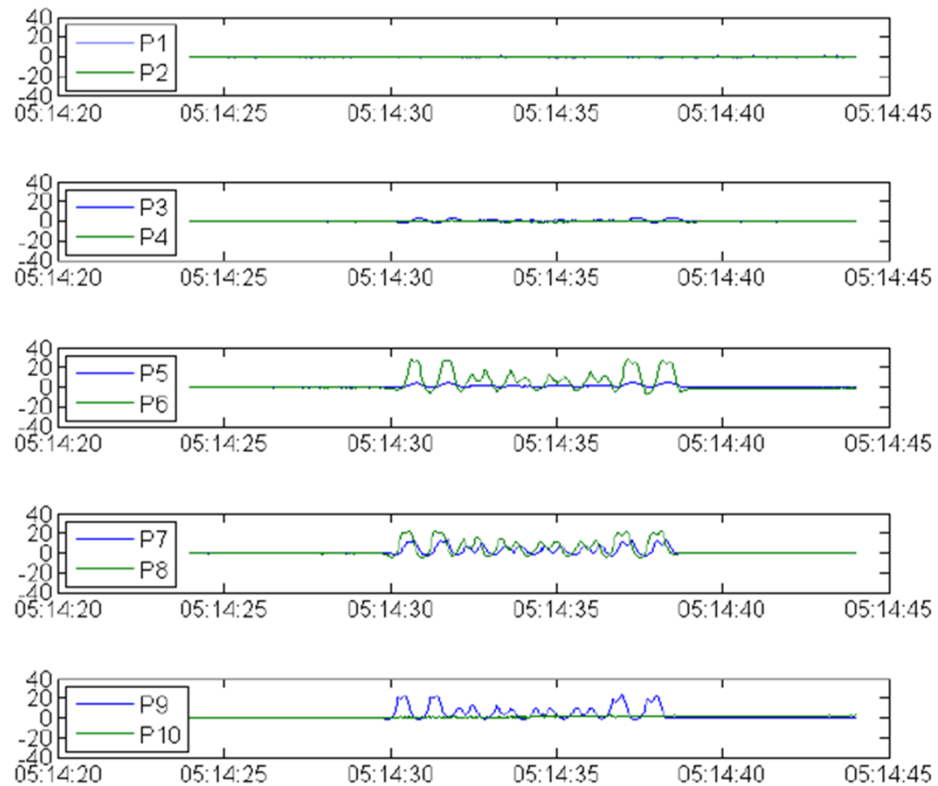


Figure 13 : Déformations sur les 10 poutres engendrées par un train de travaux allant d'Opéra vers Pyramides

D'Opéra vers Pyramide

	Déformation Max en $\mu\text{m/m}$
Jauge P1	1.5
Jauge P2	1.5
Jauge P3	3.5
Jauge P4	1.5
Jauge P5	4.5
Jauge P6	28.4
Jauge P7	14.5
Jauge P8	22
Jauge P9	24.5
Jauge P10	2.5

Mesure des déformations sous passage des trains de travaux

5,7 MPa

# Analyse historique

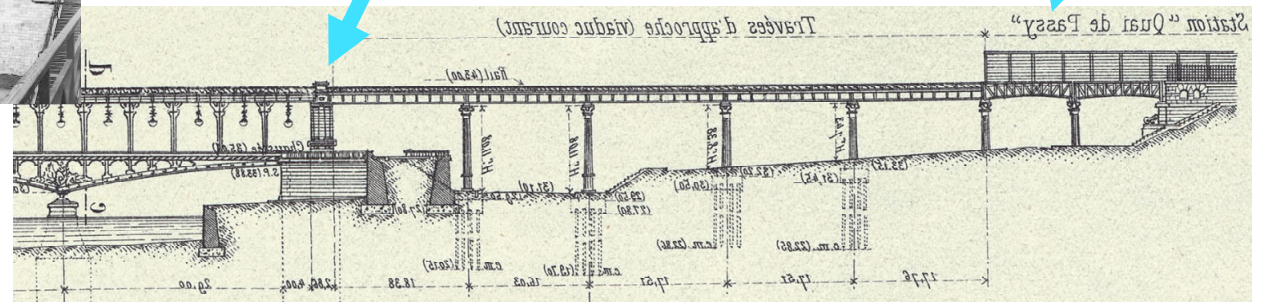
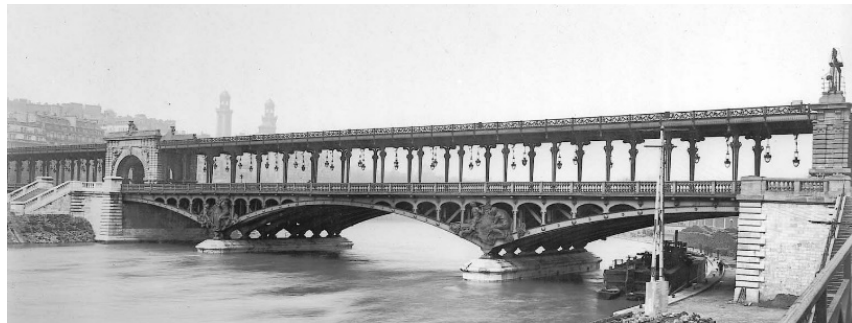
Plancher métallique sous-croix au dessus du Collecteur  
de Clichy.

Tableau comparatif des flèches calculées et observées.

Designation des pièces	flèches			Observations.
	Calculées	observées (poids mort)	observées (poids roulant)	
<u>Poutre jumelée A</u>				
1 <sup>er</sup> Élément	$16 \frac{7}{8}$	$0 \frac{7}{8}, 20$	$0 \frac{7}{8}, 20$	
2 <sup>e</sup> Élément.	$16 \frac{7}{8}$	$0 \frac{7}{8}, 15$	$0 \frac{7}{8}, 10$	

Procès verbal des épreuves  
Flèches mesurées et calculées  
1910

# Viaduc de Passy et travées de l'Alboni, localisation



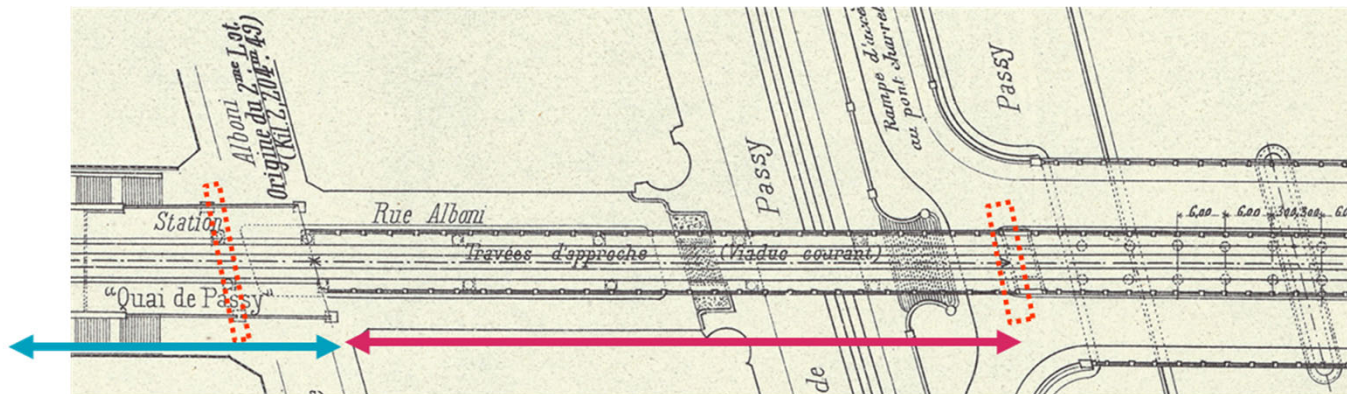
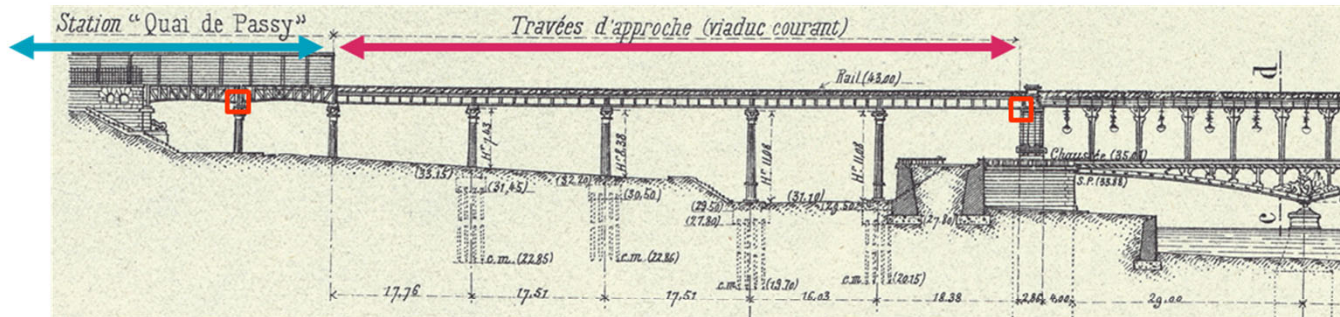
Pile - arche

Station Passy

# La première arche du viaduc de Passy

## Les travées

□ Appui fixe



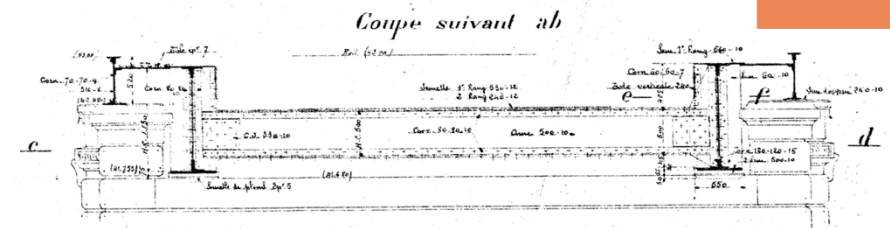
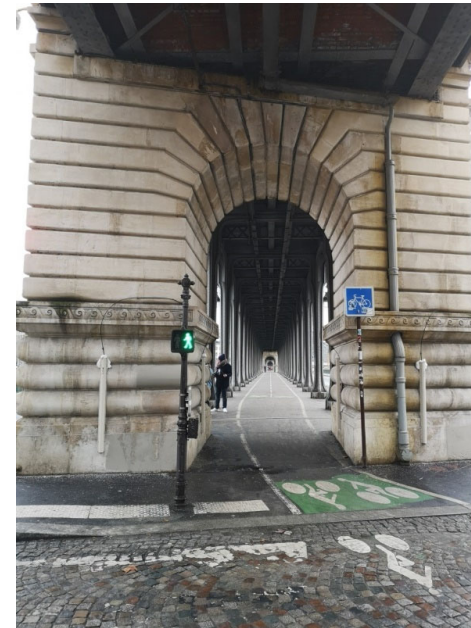
# La première arche du viaduc de Passy

## Appui et implantation des fibres

### ■ Face Pont de Bir-Hakeim



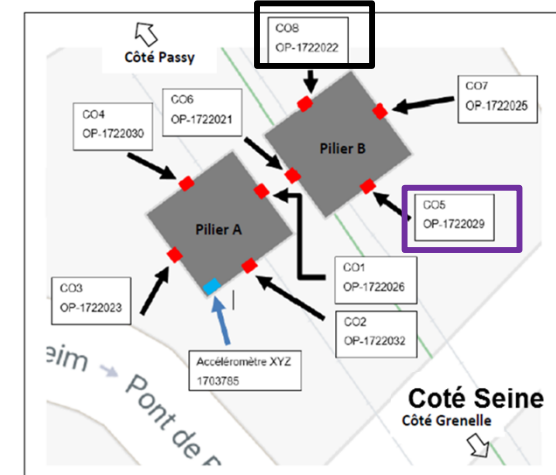
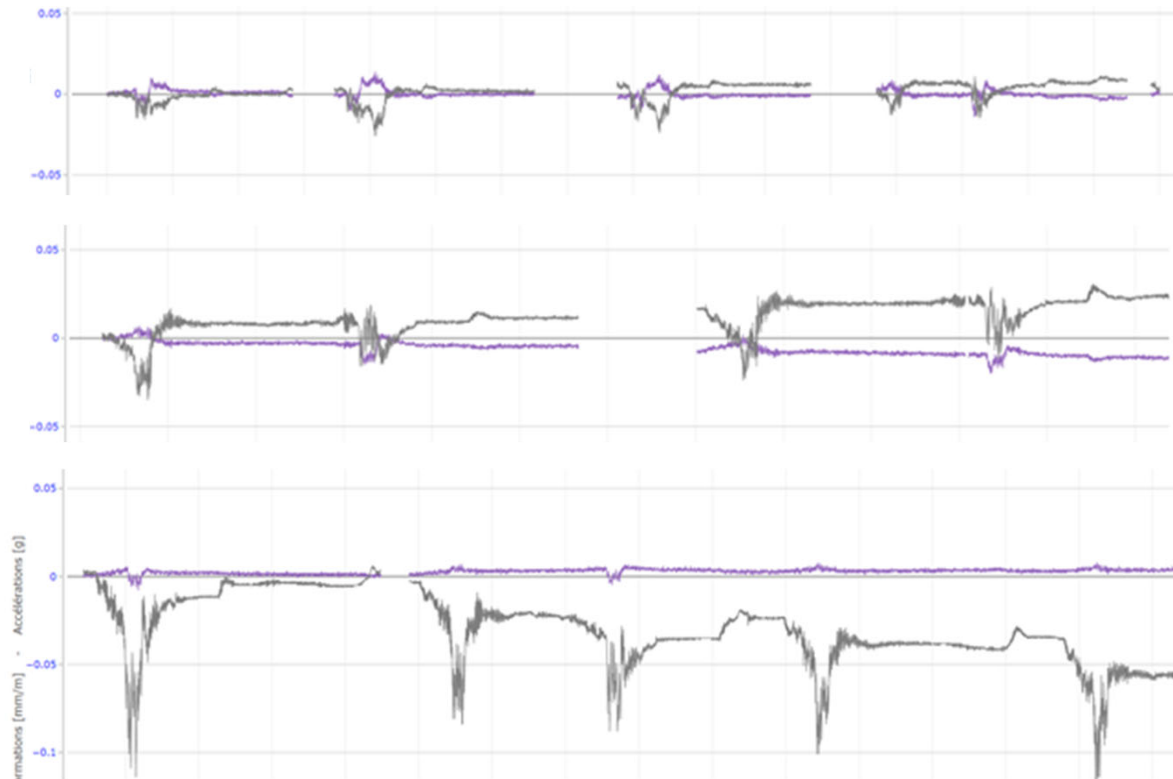
### ■ Face Passy



# La première arche du viaduc de Passy

## Déformation axiale des jauges

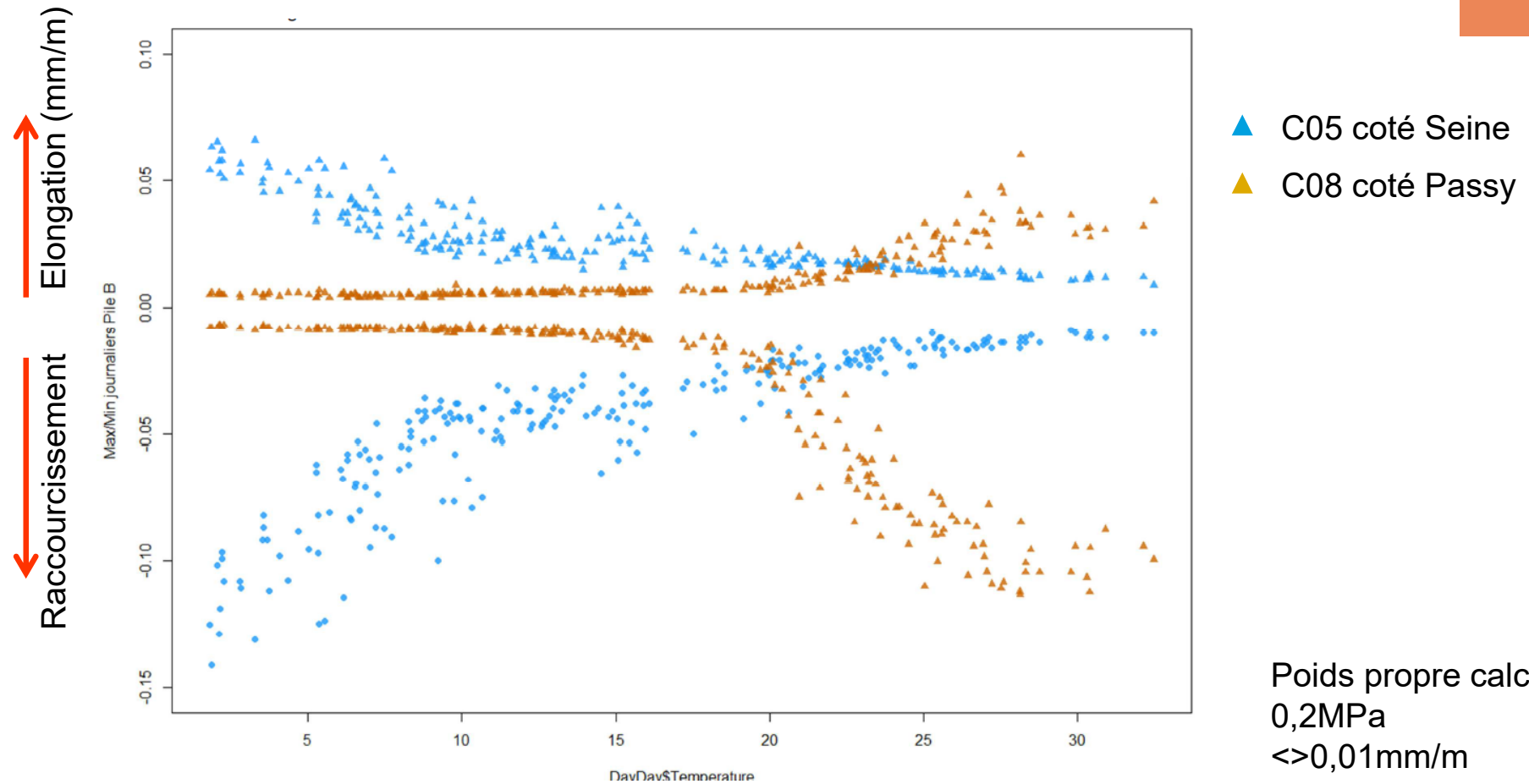
statique journalier et  
dynamique  
Eté : 6h - 8h - 13h





# La première arche du viaduc de Passy

## Déformations dynamiques annuelles

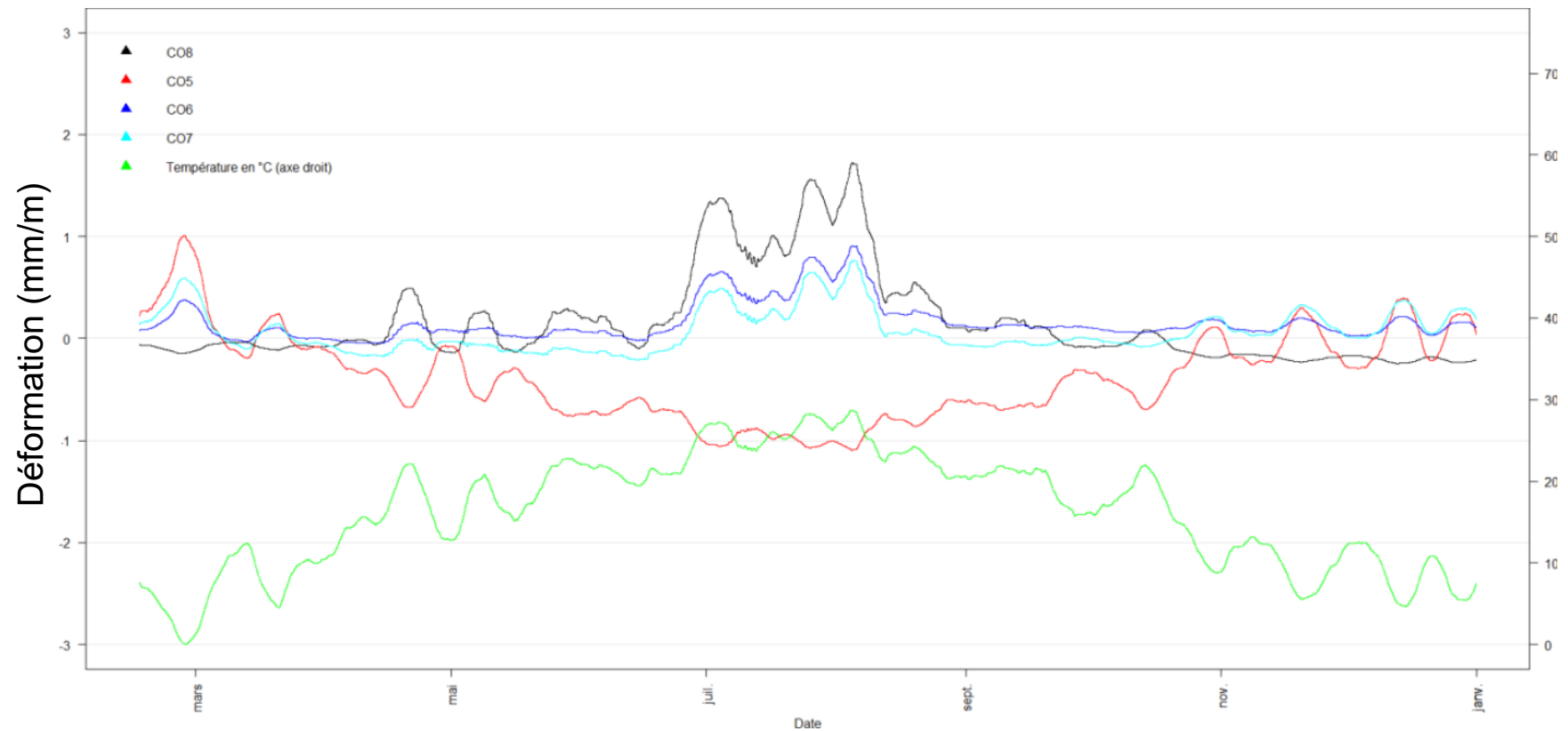


# La première arche du viaduc de Passy

## Déformations statiques annuelles

— C08 coté Passy

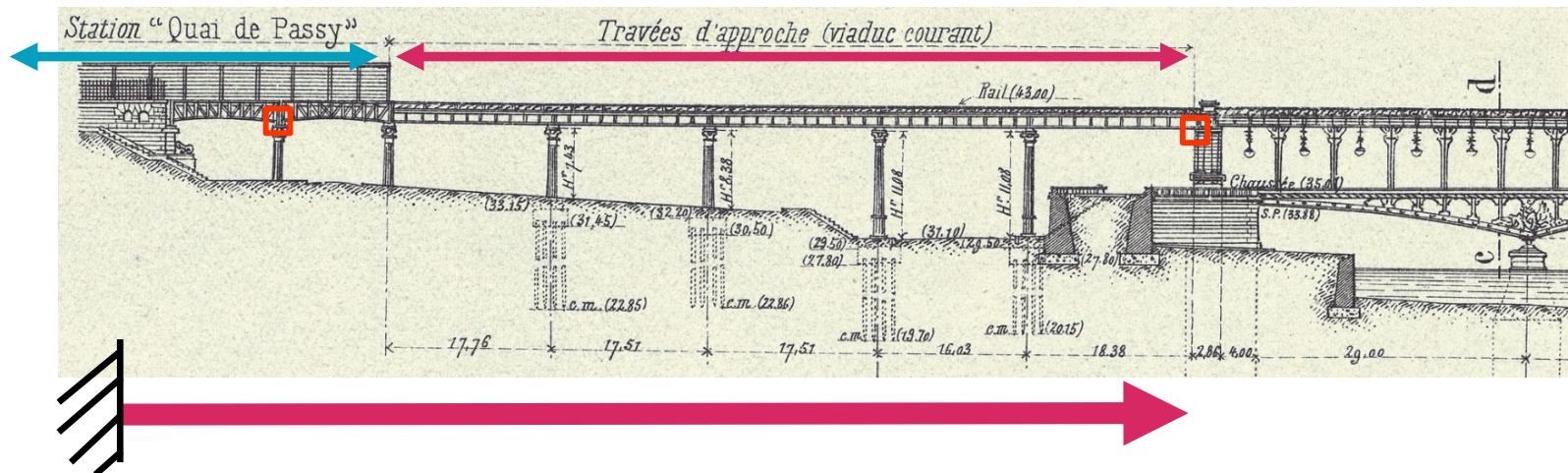
— C05 coté Seine



# La première arche du viaduc de Passy

## Hypothèses

□ Appui fixe



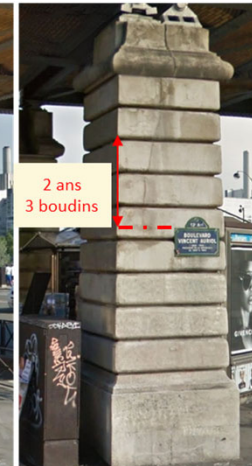
- Les déformations sous convois sont associées à des ouvertures/fermetures des joints ou fissures
- La dilatation du tablier de la travée Albani contrôle les déformation sous convois de l'arche

# Fissuration pile en maçonnerie (Quai de la Gare)

Quai de la Gare – état des lieux – 22/08/2014



Mai 2012



Mai 2014

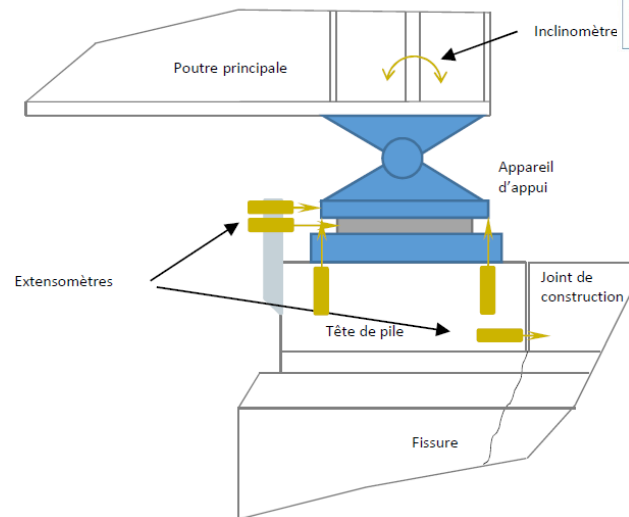
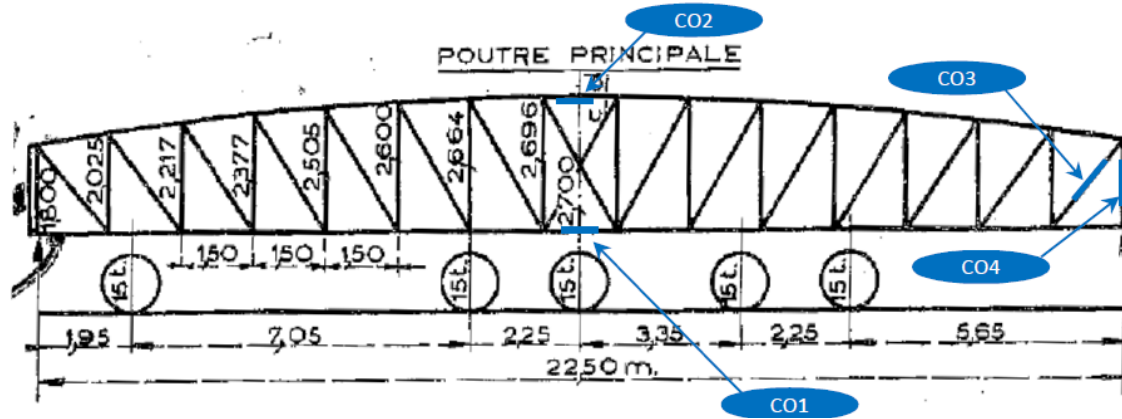


Juin 2014



Aout 2014

# Fissuration pile en maçonnerie (Quai de la Gare)

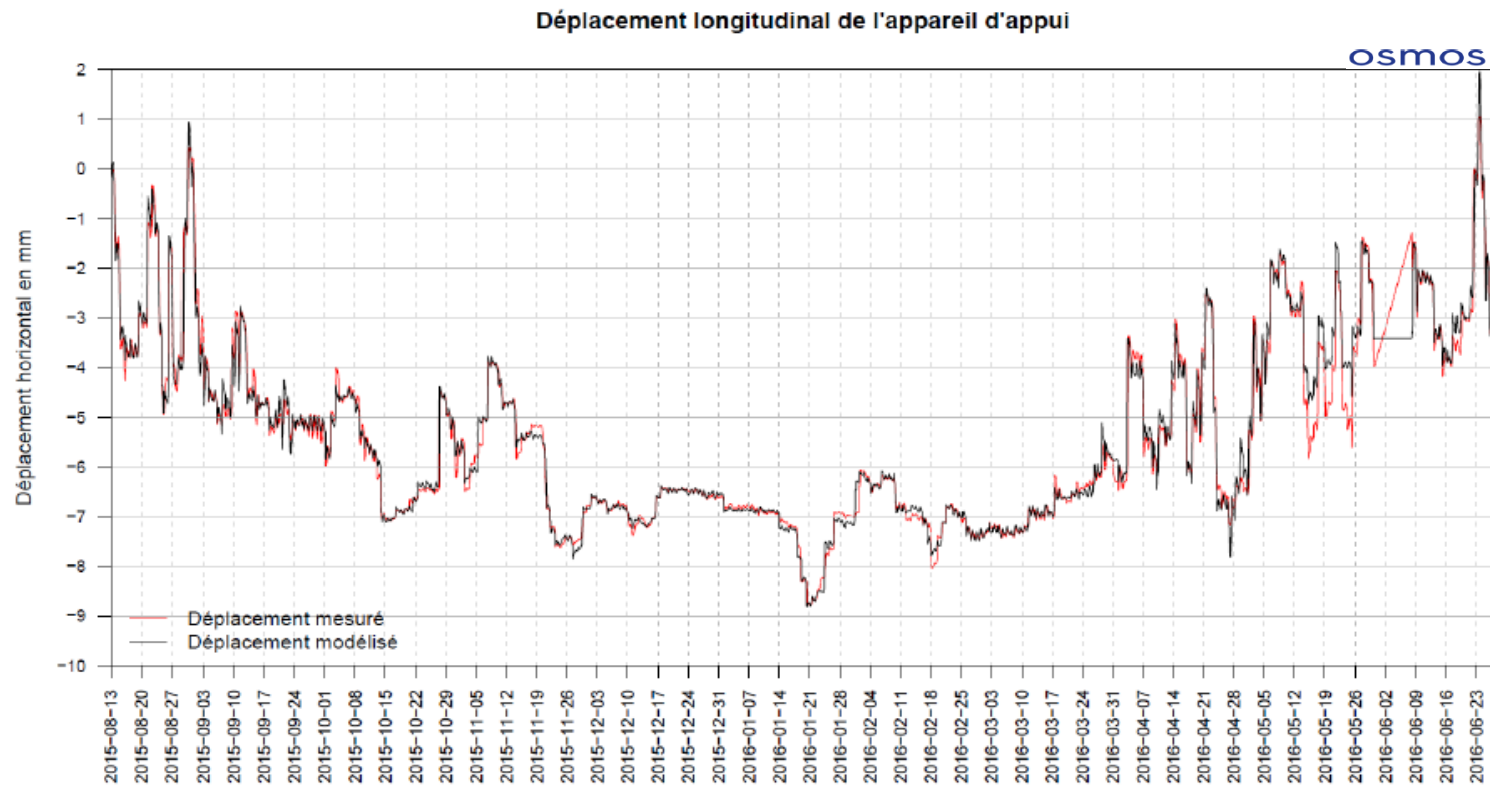


osmos

Photograph of the osmos measurement station. Technical callouts include:
 

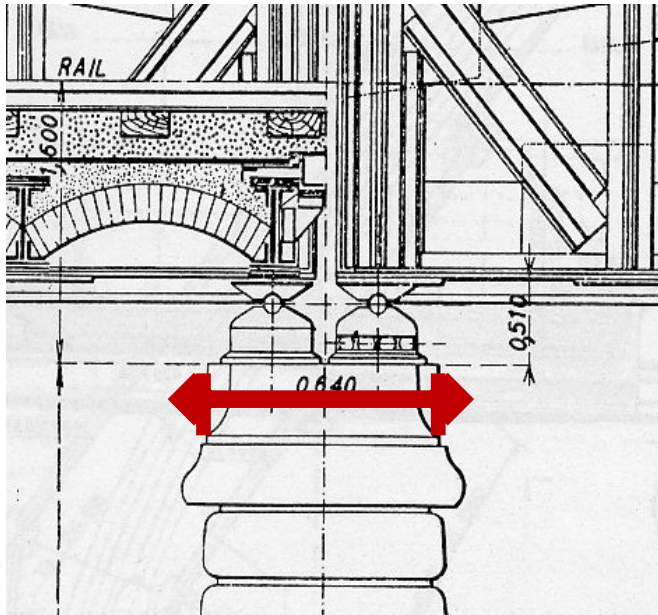
- Identifiant : **Inclino01/Tablier**  
Type de capteur : **Inclinomètre +/-5°**  
Mesure de l'angle du balancier supérieur
- Identifiant : **EX-04/Ecrasement**  
Type de capteur : **Extensomètre +/-6mm**  
Mesure de l'écrasement de l'appui
- Identifiant : **EX-03/Ecrasement**  
Type de capteur : **Extensomètre +/-6mm**  
Mesure de l'écrasement de l'appui
- Identifiant : **EX-07/Transversa**  
Type de capteur : **Extensomètre +/-6mm**  
Mesure du déplacement transversal entre les parties supérieures et inférieures de l'appui
- Carter de protection mis en place après fixation des capteurs

# Fissuration pile en maçonnerie (Quai de la Gare)



À partir du modèle de calcul développé par la RATP, certains paramètres ont pu être déterminés plus précisément. Ainsi a-t-on évalué le coefficient de frottement statique de l'appareil d'appui à **0,47** et le coefficient dynamique à 0,41, ce qui induit un effort horizontal de l'ordre de 32 tonnes dans la pile.

# Fissuration pile en maçonnerie : Travaux de clouage



# Pour méditer :

Devant la complexité des propriétés du matériau et des sollicitations auxquelles il est soumis dans un ouvrage, la résistance des matériaux classique devient impuissante à rendre compte des faits tels qu'ils résultent de l'observation et perd ainsi une partie de l'autorité exclusive qu'elle a détenue pendant un siècle dans le domaine de la construction.

L'ingénieur n'accomplira désormais des progrès marquants que s'il sait s'écarter des raisonnements trop abstraits, des théories trop rigides et des calculs trop précis, pour s'orienter de plus en plus vers l'expérience qui, suivant les termes souvent cités de H. Poincaré, "est la source unique de vérité et peut seule nous apprendre quelque chose de nouveau".

H. Clément - Les ouvrages du Métropolitain - 1945



# La Haute surveillance

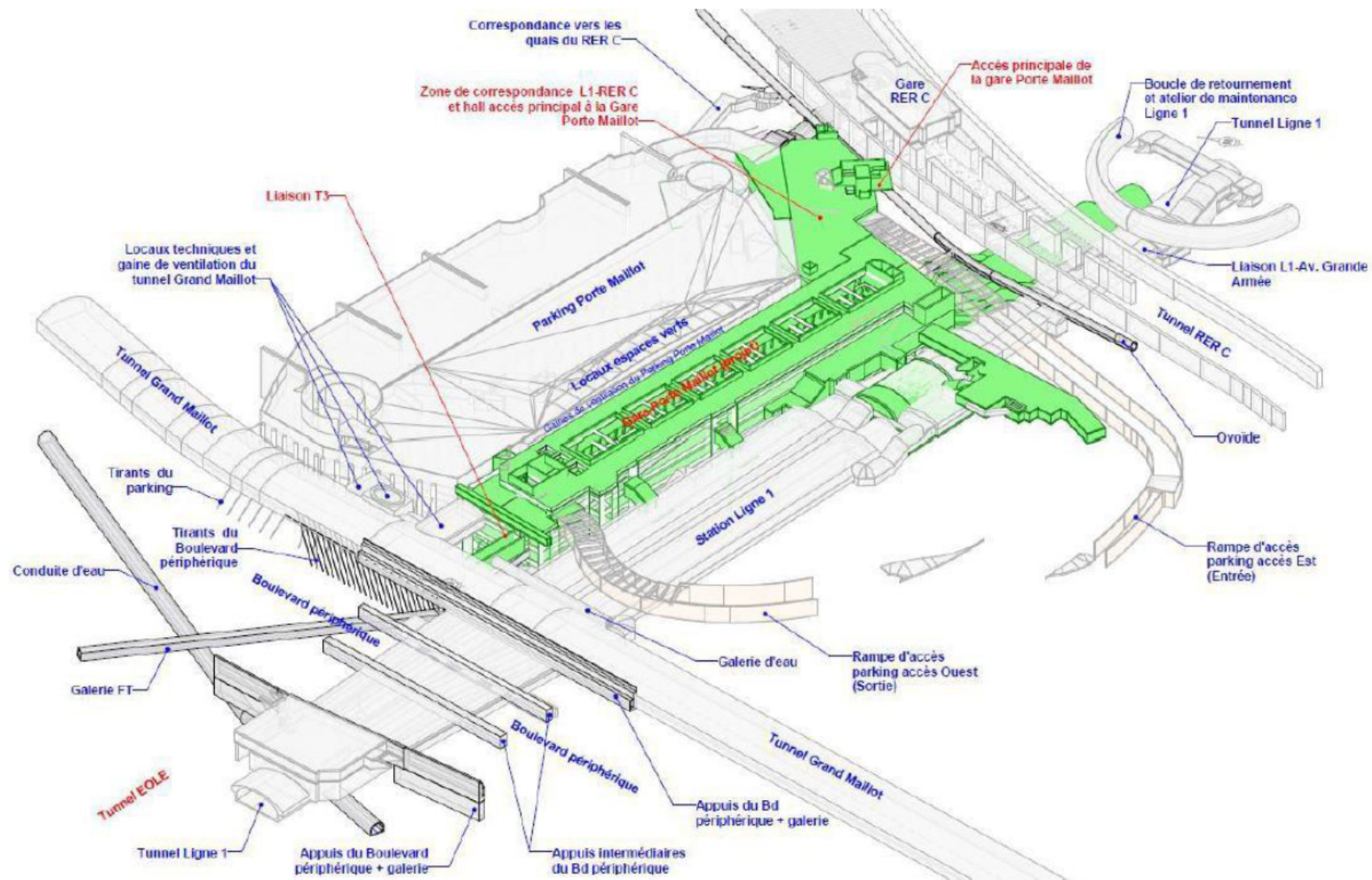
- La haute surveillance: pourquoi, comment ?

*se prémunir d'un risque identifié à survenance potentiellement rapide*

- *Quel risque ?*
- *Que mesurer ?*
- *Quel seuil ?*
- *Quelle marche à blanc ?*
- *Quelle organisation ?*
- *Quelle levée de doute ?*
- *Quelles actions ?*

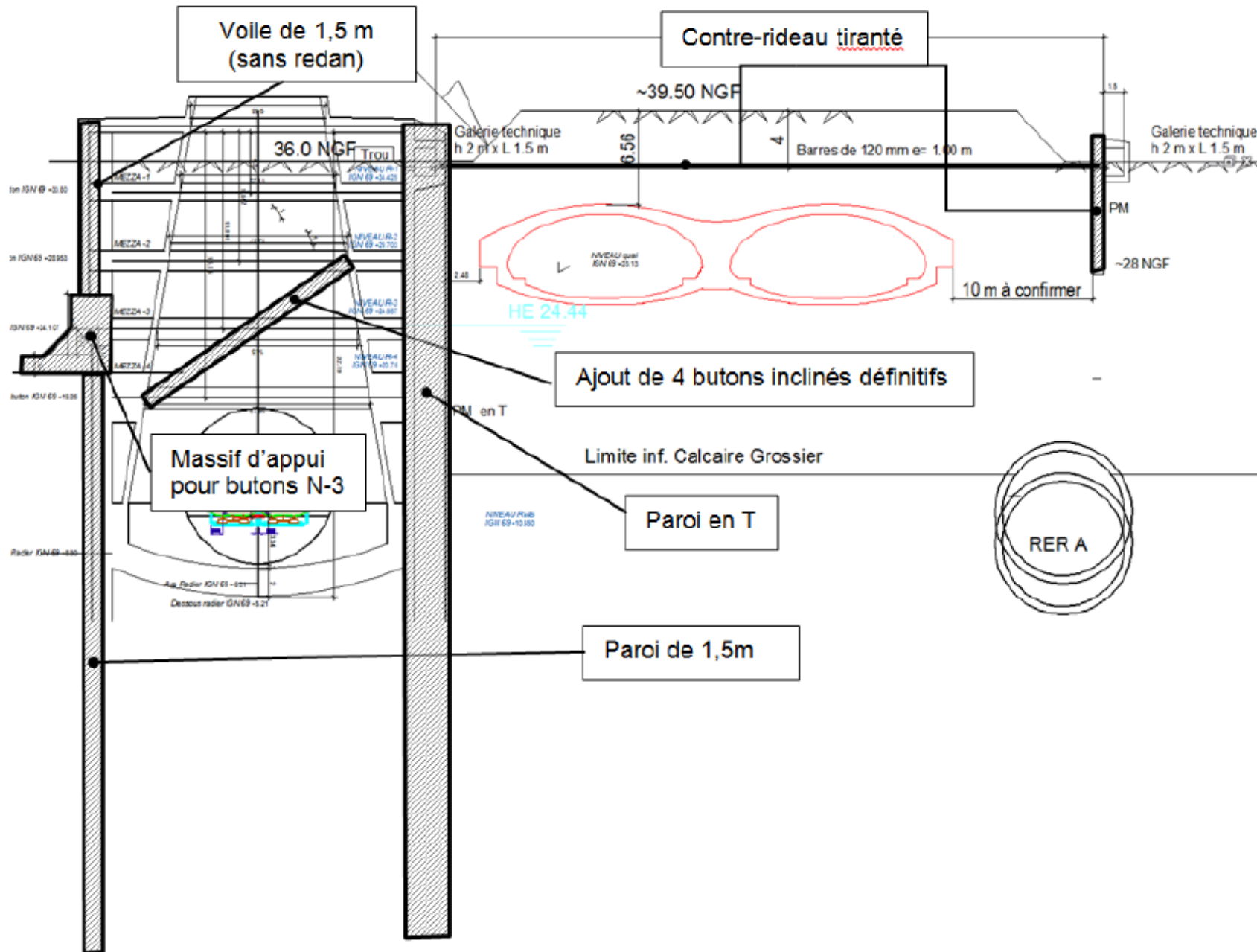
# Prolongement RER E : Gare de Porte Maillot

Le plan de la situation de la Gare Porte Maillot :

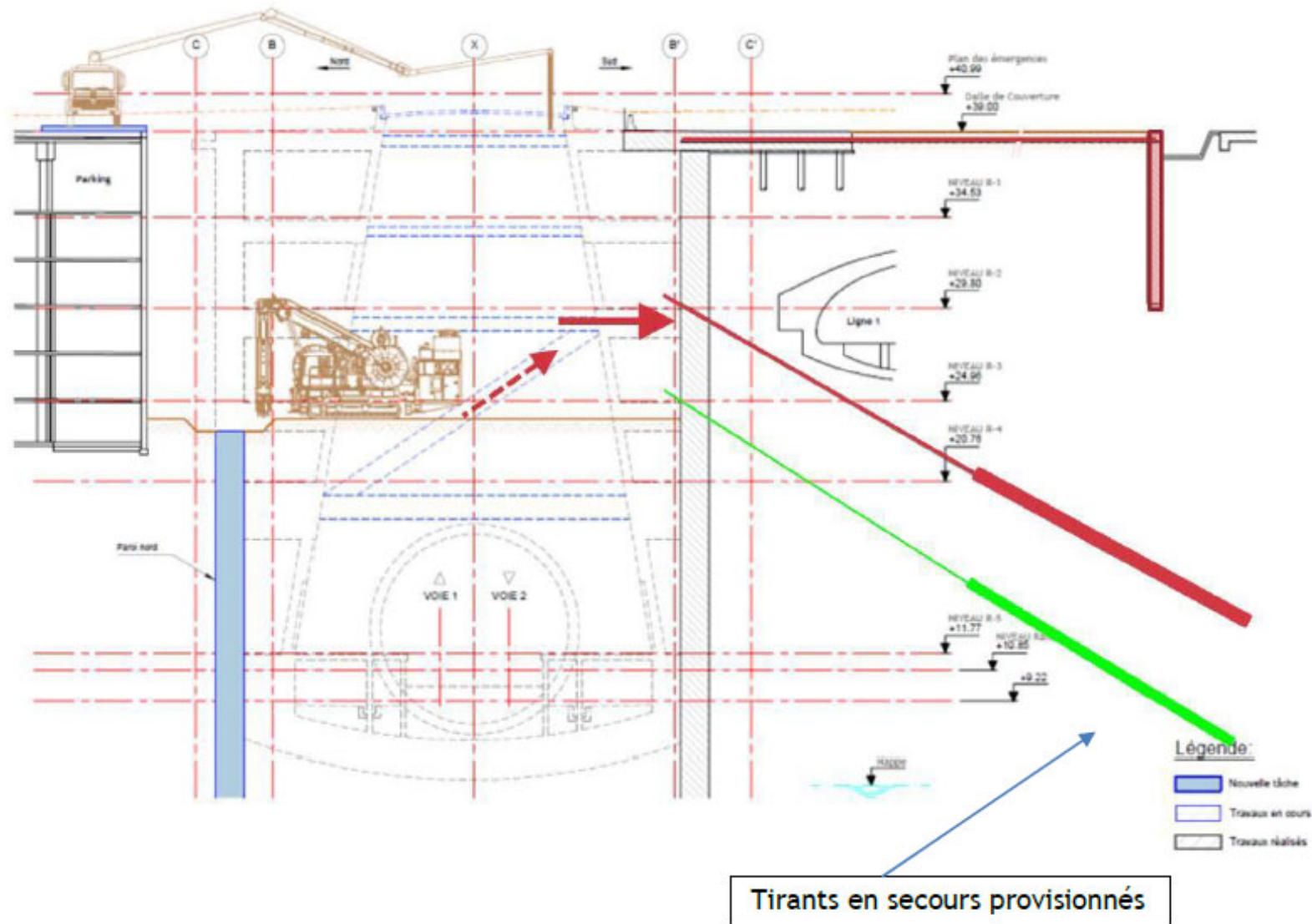


**Plan de situation de la Gare Porte Maillot**

# Prolongement RER E : Gare de Porte Maillot



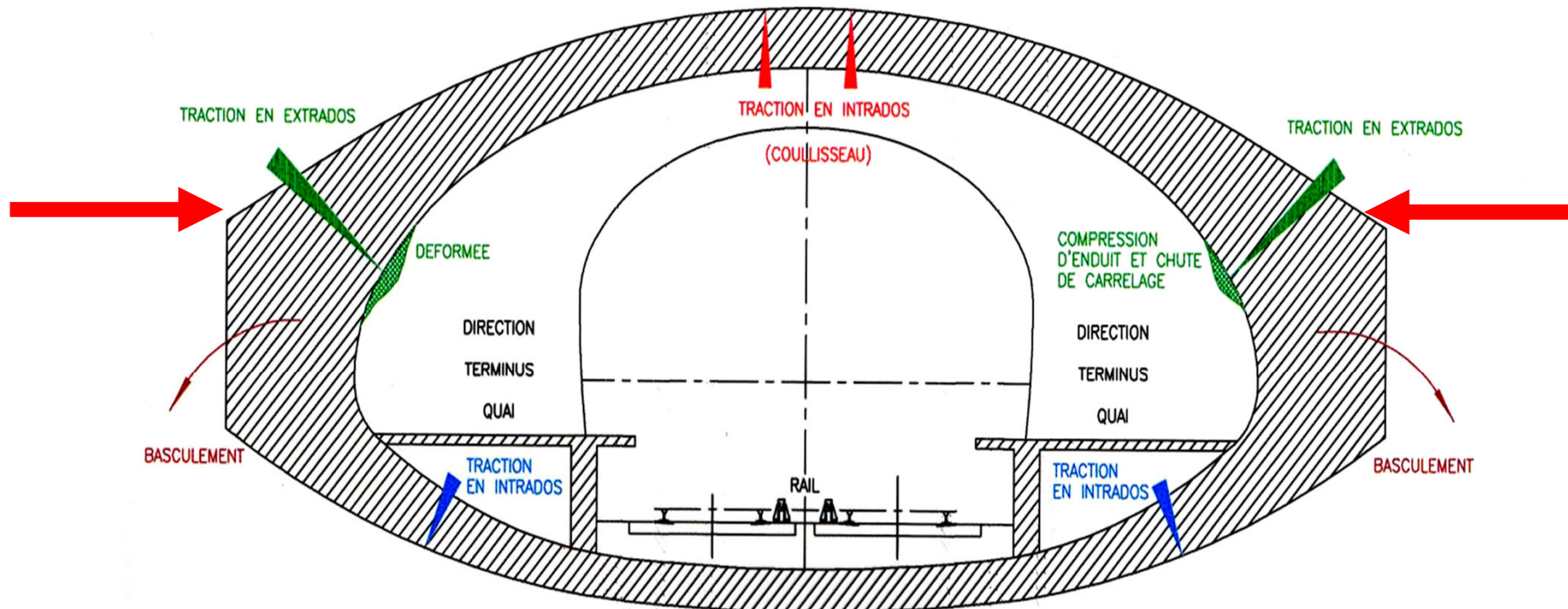
# Prolongement RER E : Gare de Porte Maillot



# Mode de déformation des ouvrages en maçonneries

## DESORDRES PAR MANQUE DE BUTEE LATERALE

### Pas auto-stable : butée latérale nécessaire



### Apparition de rotules et de fissurations associées

# Prolongement RER E : Gare de Porte Maillot

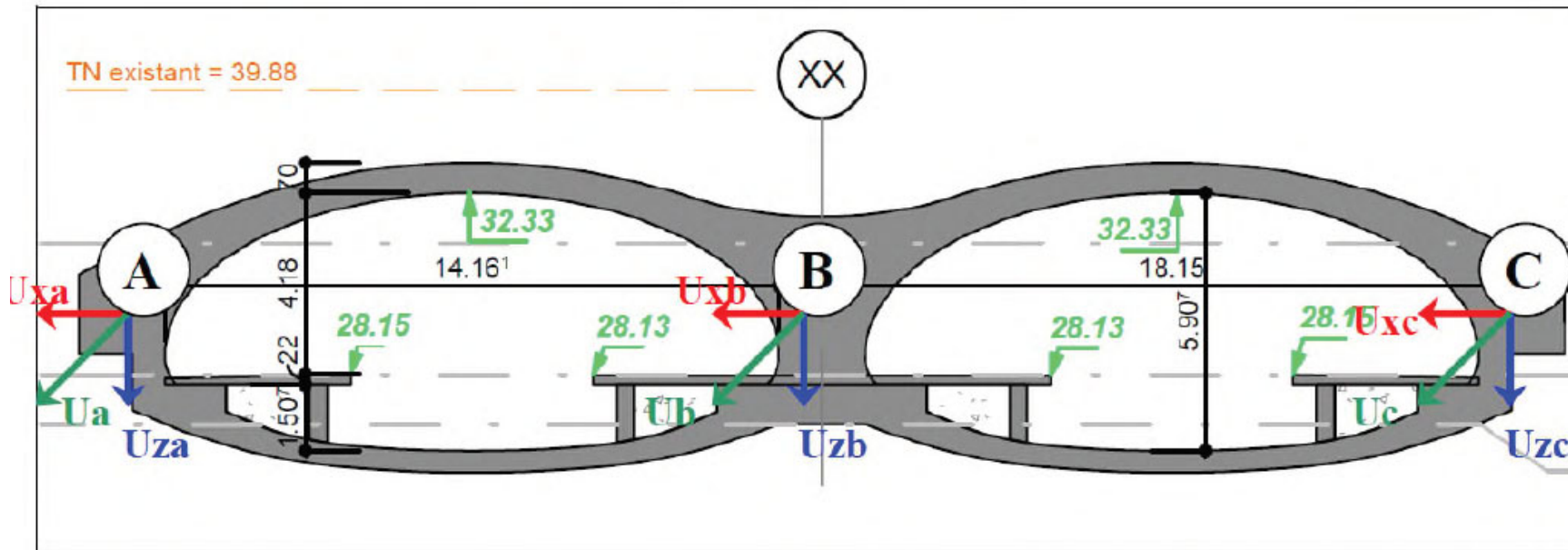
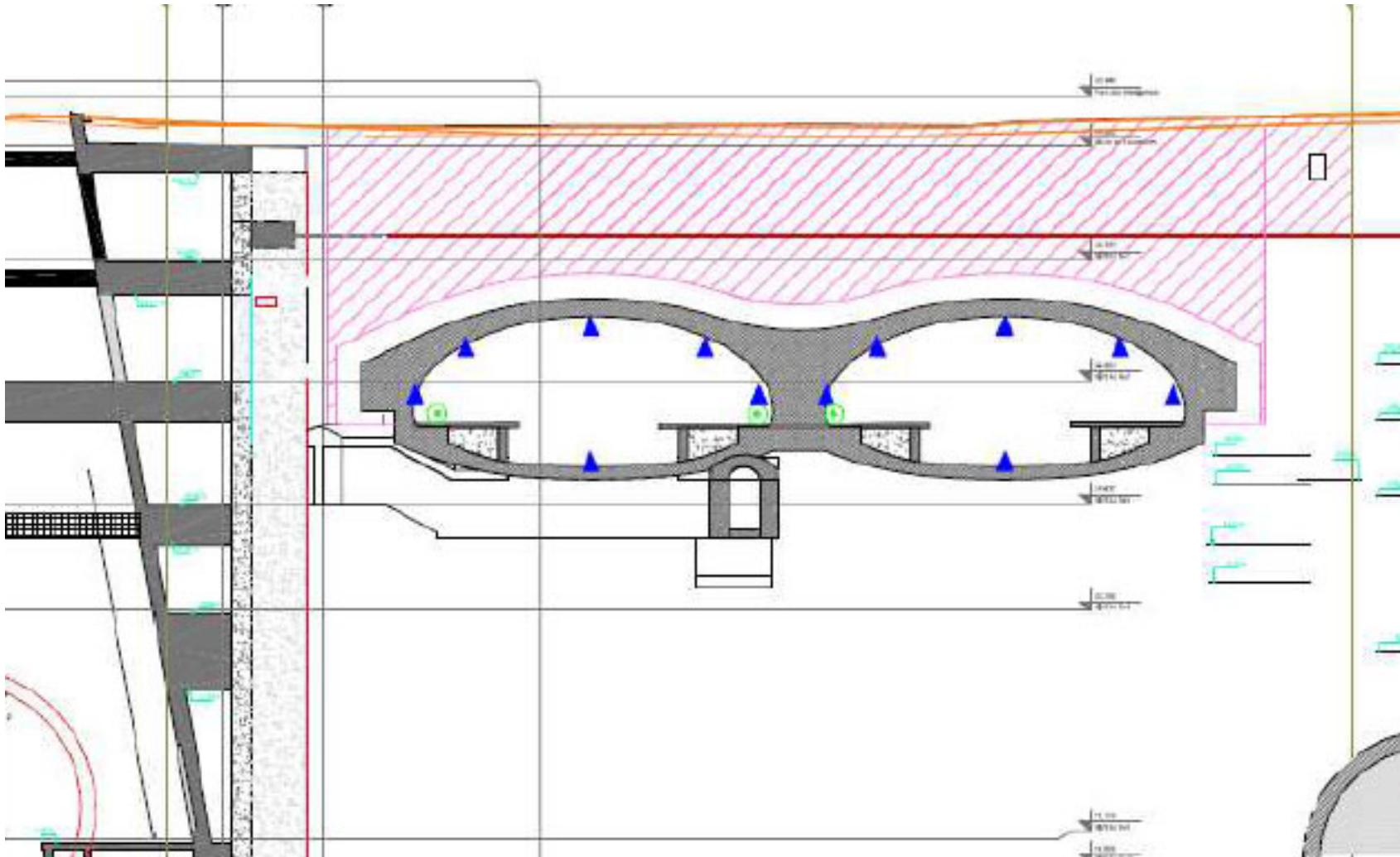


Figure 2 : Vecteurs déplacement pour une station double voûte (GPM)

Secteur GPM - station double voûte			
Déplacement	ARRÊT EXPLOITATION	ARRÊT DE CHANTIER	VIGILANCE
$U_a, U_b, U_c$ <i>déplacement total</i>	20 mm	15 mm	12 mm
$U_{za}, U_{zb}, U_{zc}$ <i>déplacement vertical</i>	16 mm	12 mm	10 mm
$U_{xa}, U_{xb}, U_{xc}$ <i>déplacement horizontal</i>	16 mm	12 mm	10 mm
$ U_{za}-U_{zb} ,  U_{zb}-U_{zc} $ <i>différentiel vertical</i>	0,6‰	0,5‰	0,4‰
$ U_{xa}-U_{xb} ,  U_{xb}-U_{xc} $ <i>différentiel horizontal</i>	0,6‰	0,5‰	0,4‰

# Prolongement RER E : Gare de Porte Maillot



Vue en coupes de la zone d'auscultation de la station

# Réflexions

La surveillance : quel risque pour le maître d'ouvrage ?