



IMGC

L'INSTRUMENTATION AU SERVICE DES OUVRAGES DE GÉNIE CIVIL

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



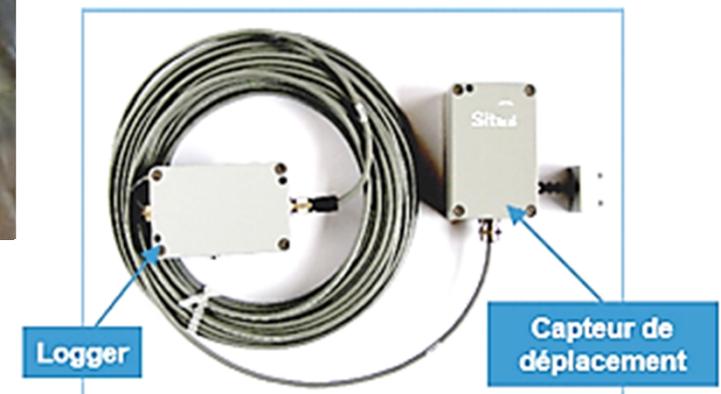
La position du Maître d'ouvrage : quelle prestation pour quel risque ?

Jean-François DOUROUX
RATP Infrastructures

Sommaire

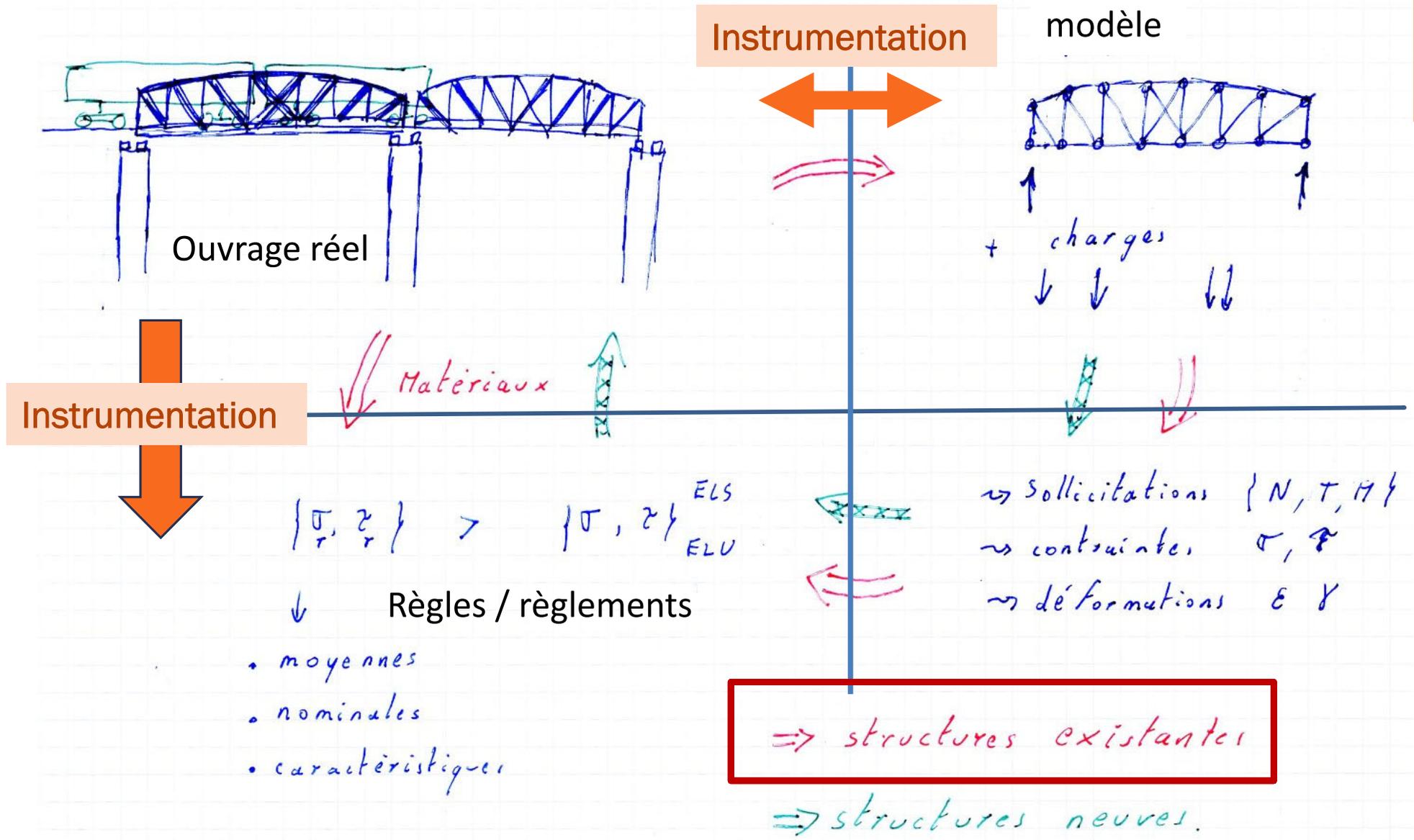
- Une meilleur compréhension d'un ouvrage
 - *Suivre une évolution*
 - *Déterminer le niveau réel de sollicitation d'une partie d'ouvrage*
 - *Préparer des travaux*
- La haute surveillance: pourquoi, comment ?
 - *se prémunir d'un risque identifié à survenance potentiellement rapide*

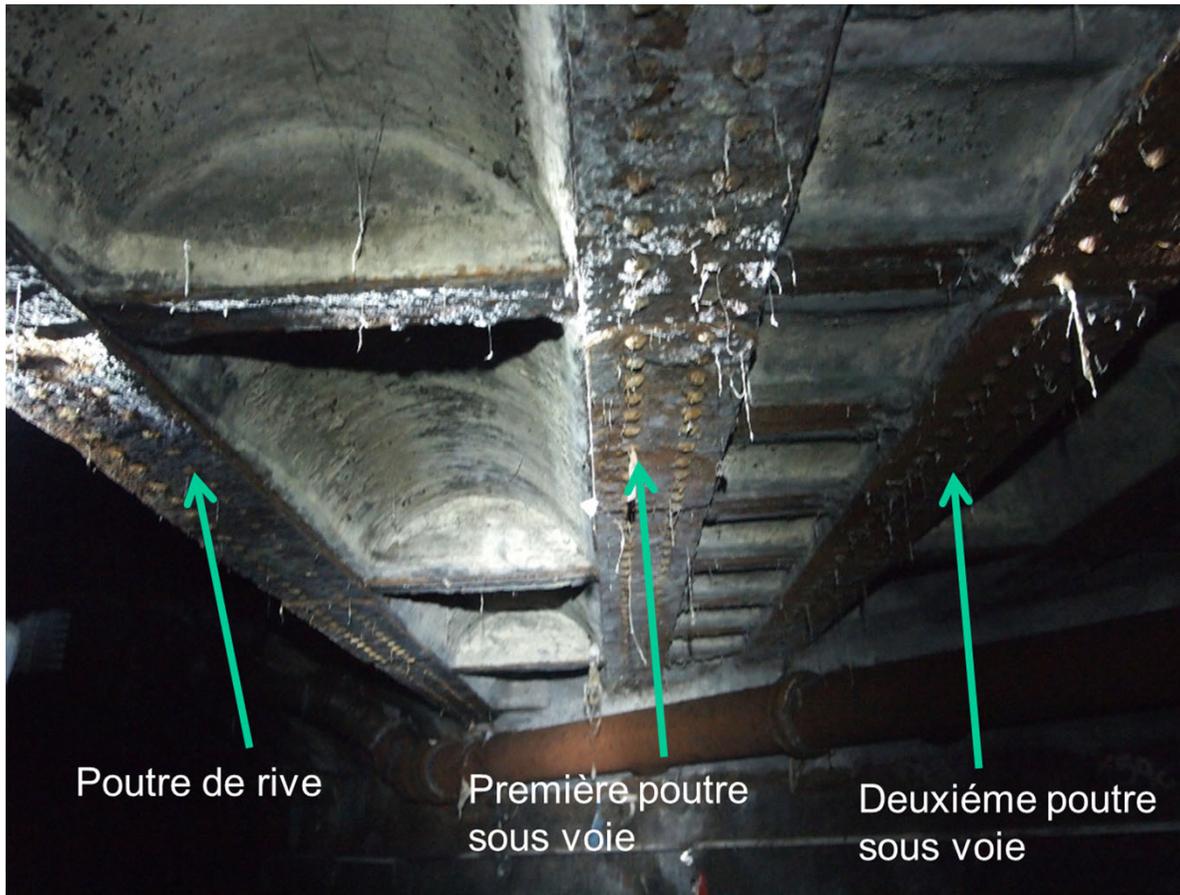
Le suivi des ouvrages : évolution ?



Exemple de fissuromètre

Les ouvrages existants : évaluation





Recalcul de l'ouvrage

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

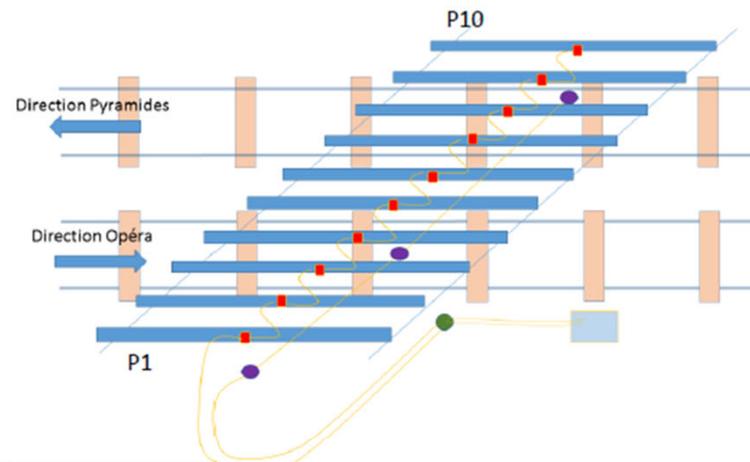
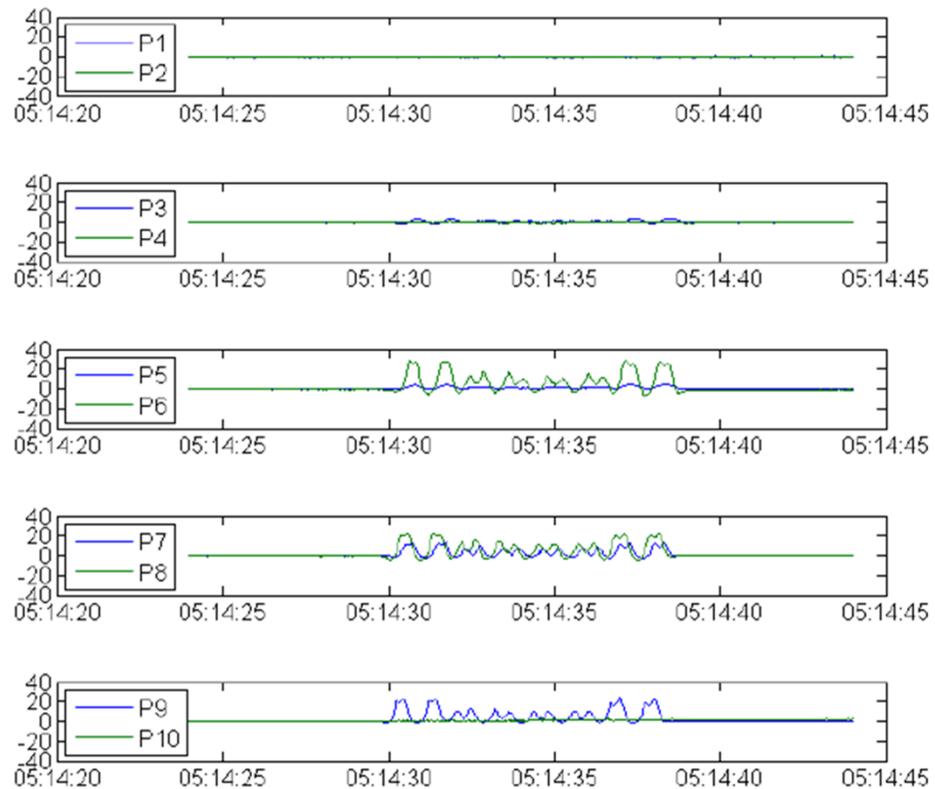


Figure 3 : Collage sur support poncé nettoyé et dégraissé

Instrumentation de l'ouvrage



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

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

Analyse historique

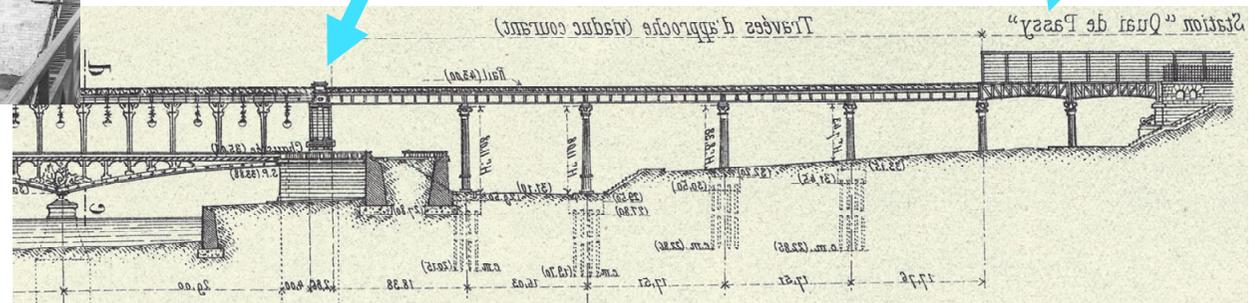
Plancher métallique sous-croix au dessus du Collecteur de Clichy.

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 ^{er} Élément	$16 \frac{7}{8}$	$0 \frac{7}{8}$, 20	$0 \frac{7}{8}$, 20	
2 ^e 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



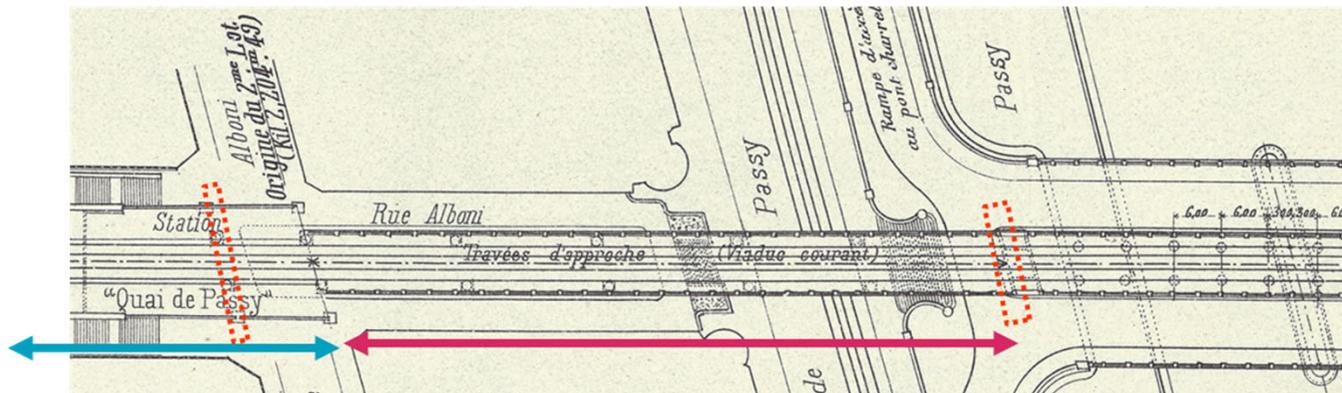
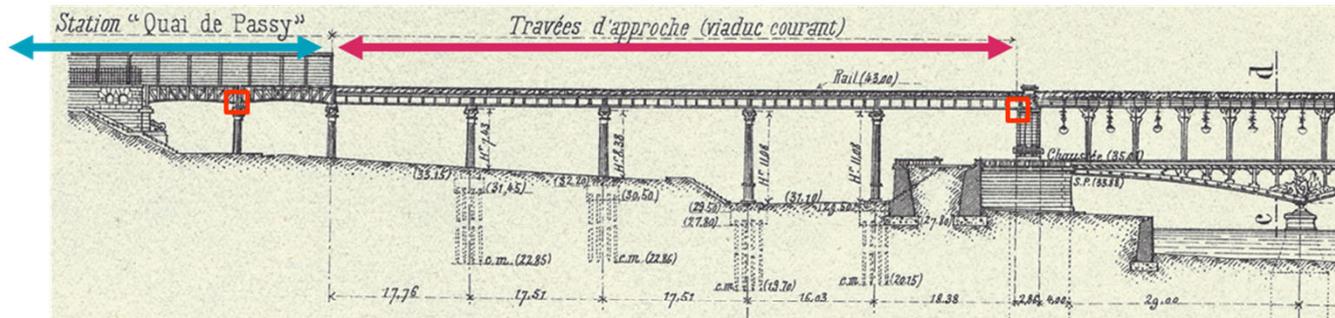
Pile - arche

Station Passy

La première arche du viaduc de Passy

Les travées

□ Appui fixe



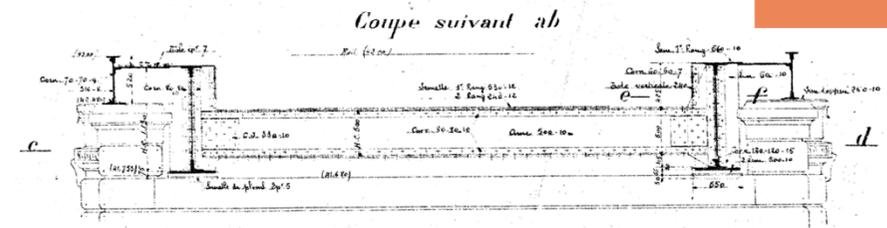
La première arche du viaduc de Passy

Appui et implantation des fibres

- Face Pont de Bir-Hakeim



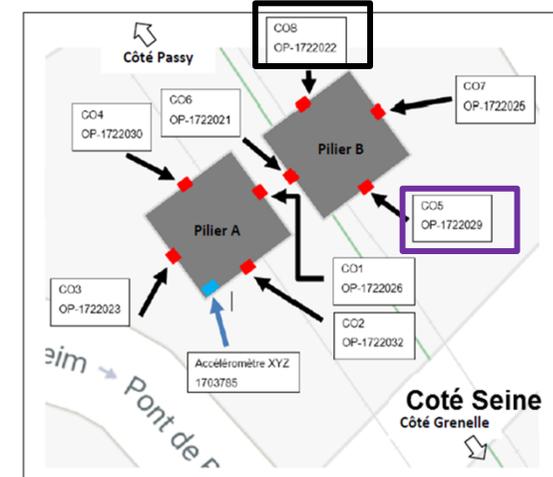
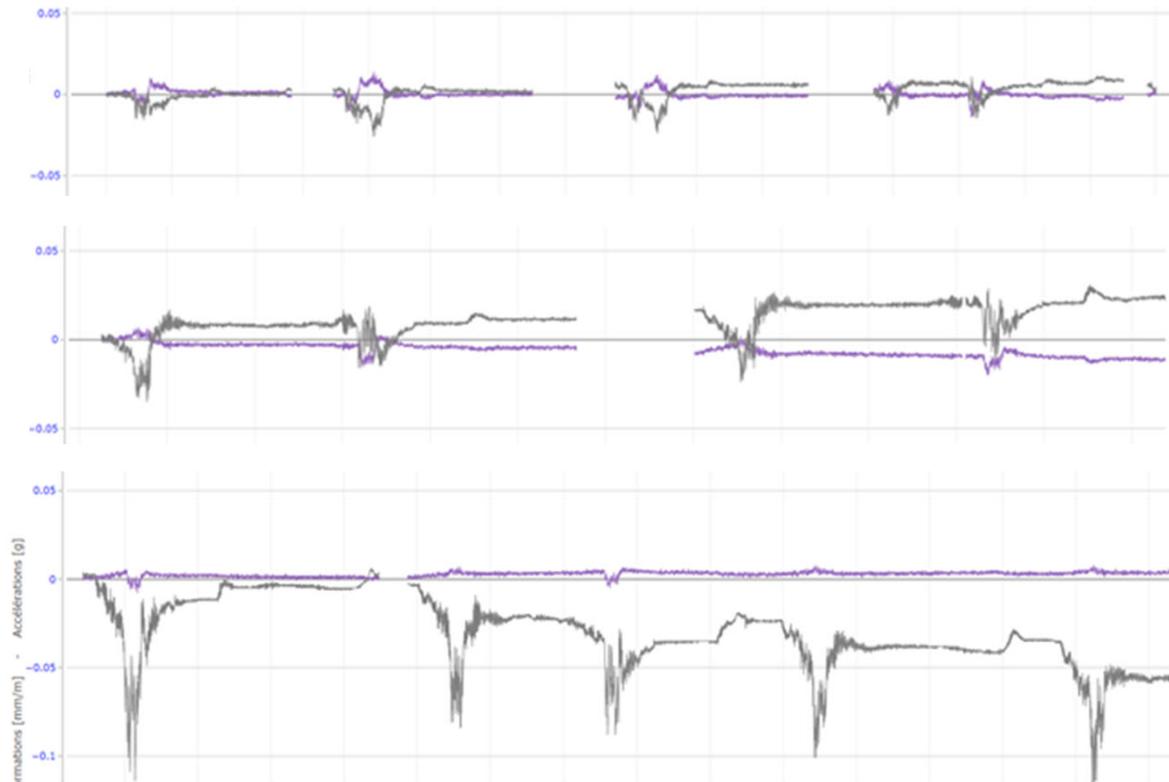
- Face Passy



La première arche du viaduc de Passy

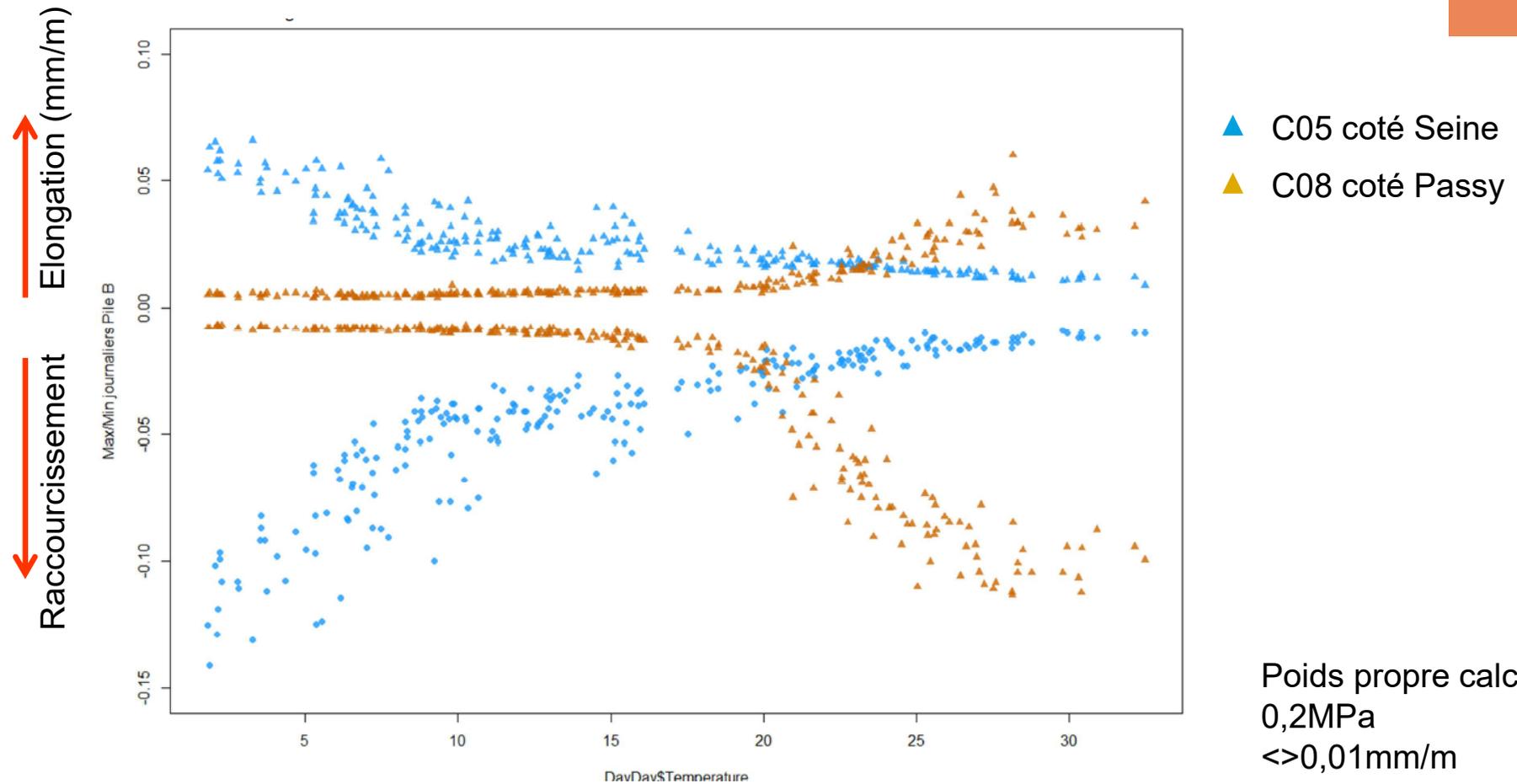
Déformation axiale des jauges

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



La première arche du viaduc de Passy

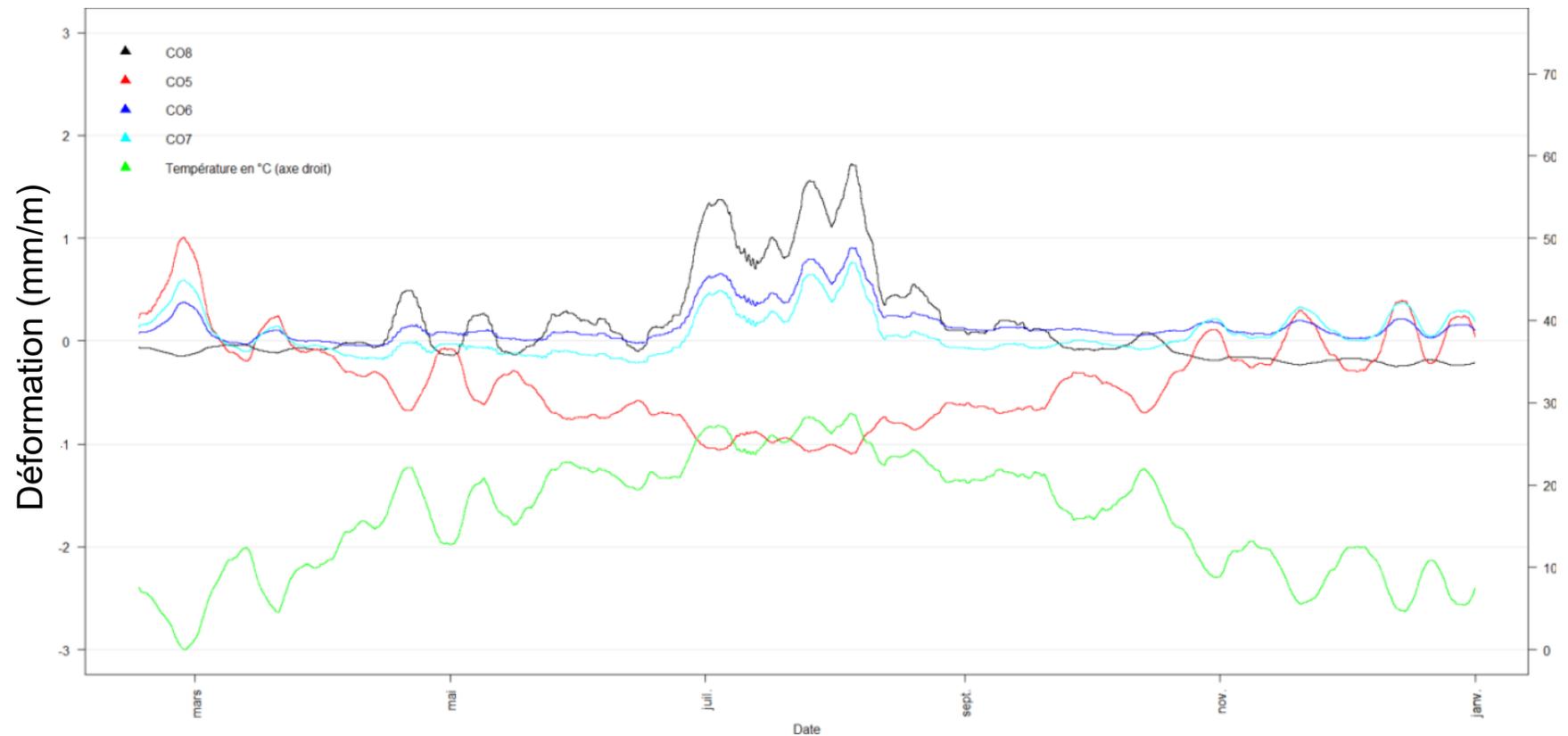
Déformations dynamiques annuelles



La première arche du viaduc de Passy

Déformations statiques annuelles

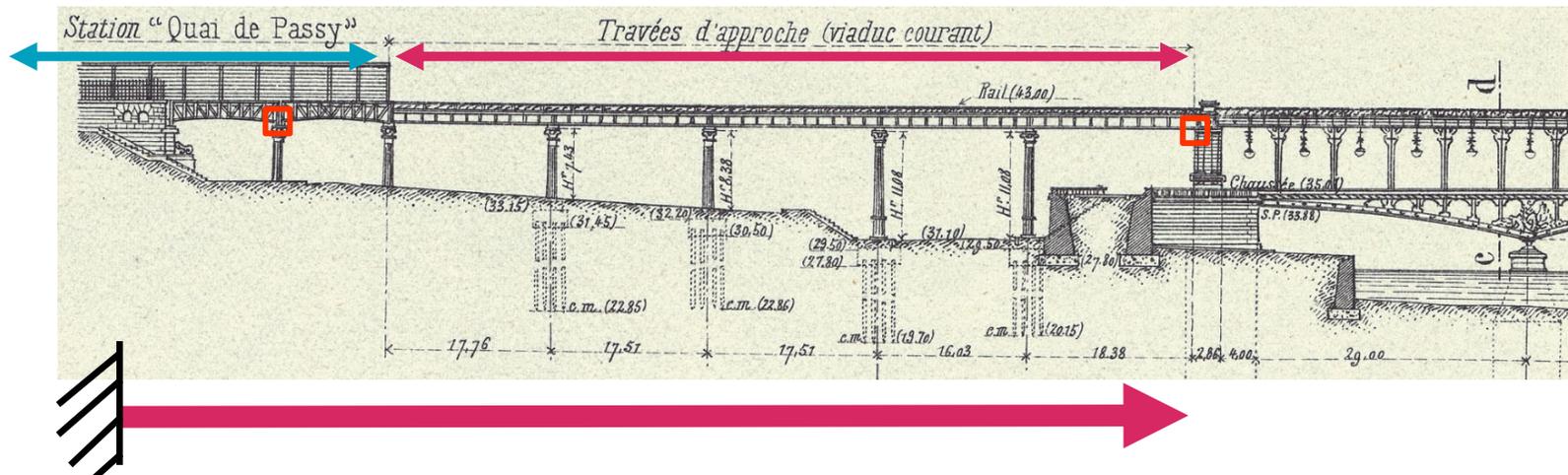
— C08 coté Passy
— C05 coté Seine



La première arche du viaduc de Passy

Hypothèses

□ Appui fixe



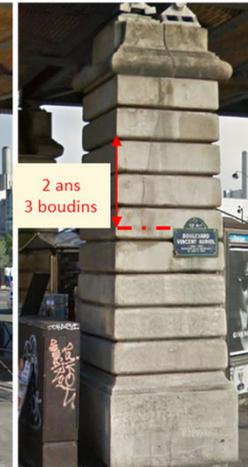
- Les déformations sous convois sont associées à des ouvertures/fermetures des joints ou fissures
- La dilatation du tablier de la travée Alboni contrôle les déformation sous convois de l'arche

Fissuration pile en maçonnerie (Quai de la Gare)

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



Mai 2012



Mai 2014

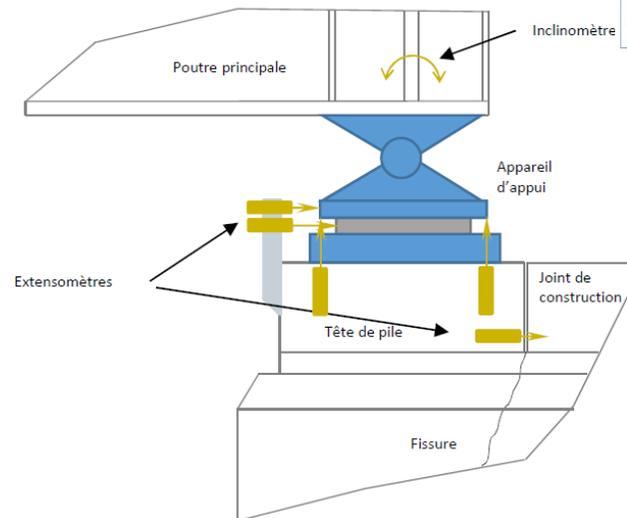
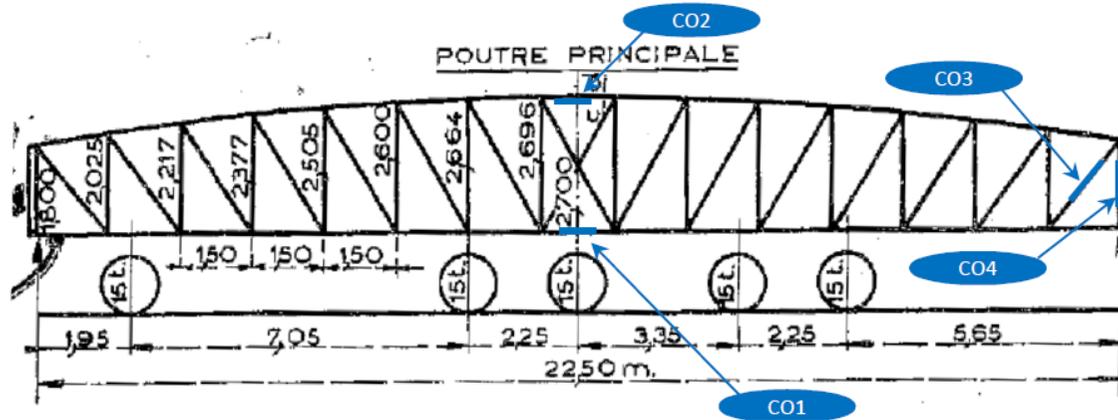


Juin 2014



Aout 2014

Fissuration pile en maçonnerie (Quai de la Gare)

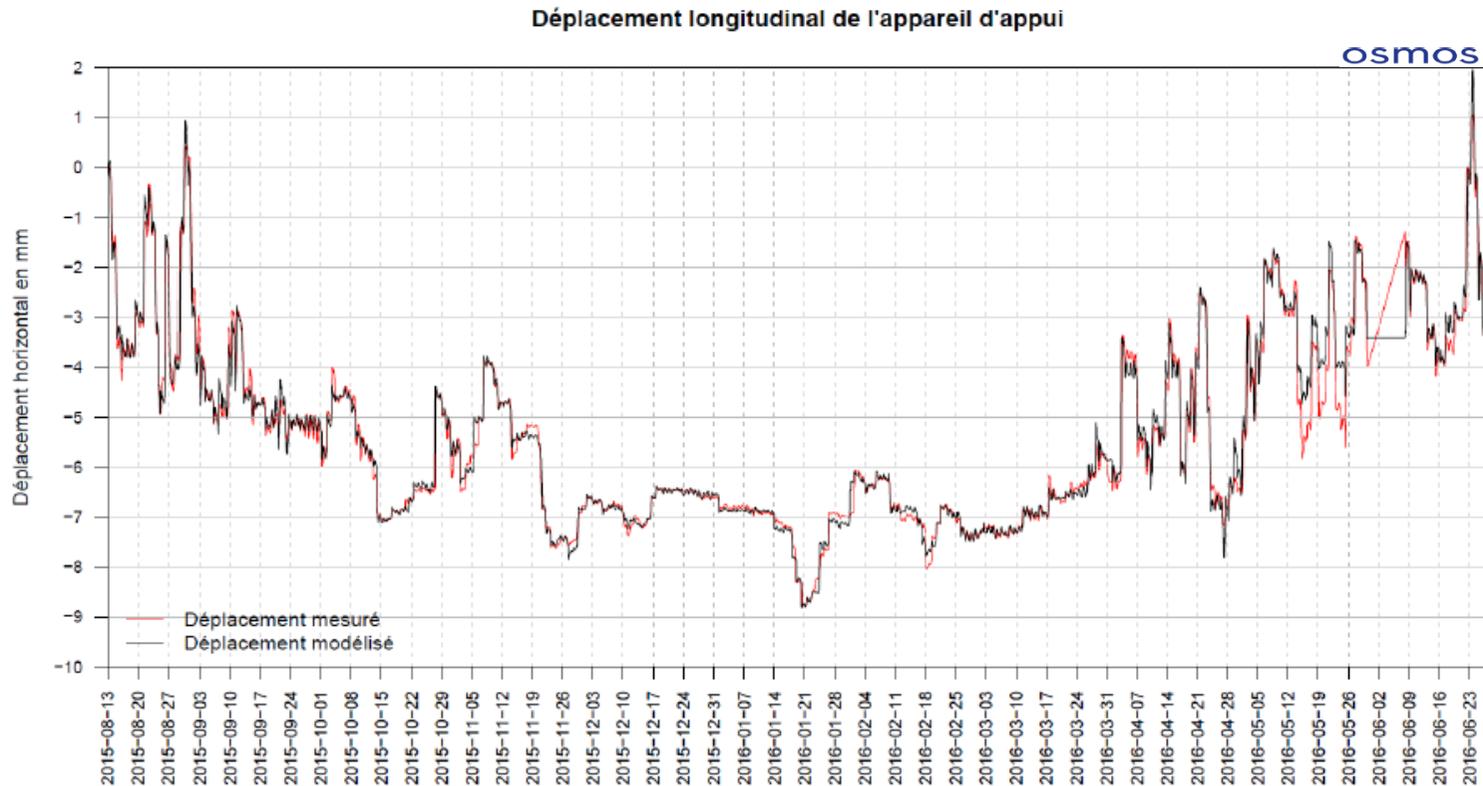


osmos

Photograph of the osmos sensor installation on the pile structure. Technical callouts include:

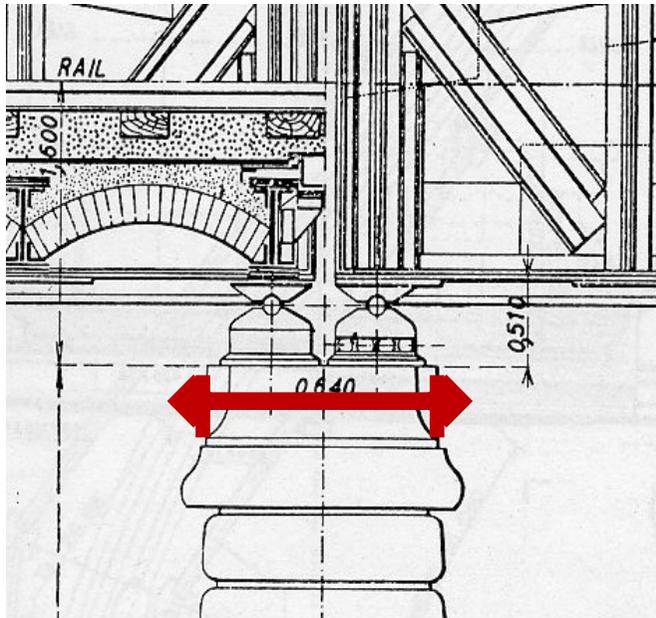
- Identifiant : Inclino01//Tablier
Type de capteur : Inclinomètre +/-5°
Mesure de l'angle du balancier supérieur
- Identifiant : EX-04//Ecrasement
Type de capteur : Extensomètre +/-6mm
Mesure de l'écrasement de l'appui
- Identifiant : EX-03//Ecrasement
Type de capteur : Extensomètre +/-6mm
Mesure de 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
- Côté Station de métro
- Côté Seine
- + positif
- négatif

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

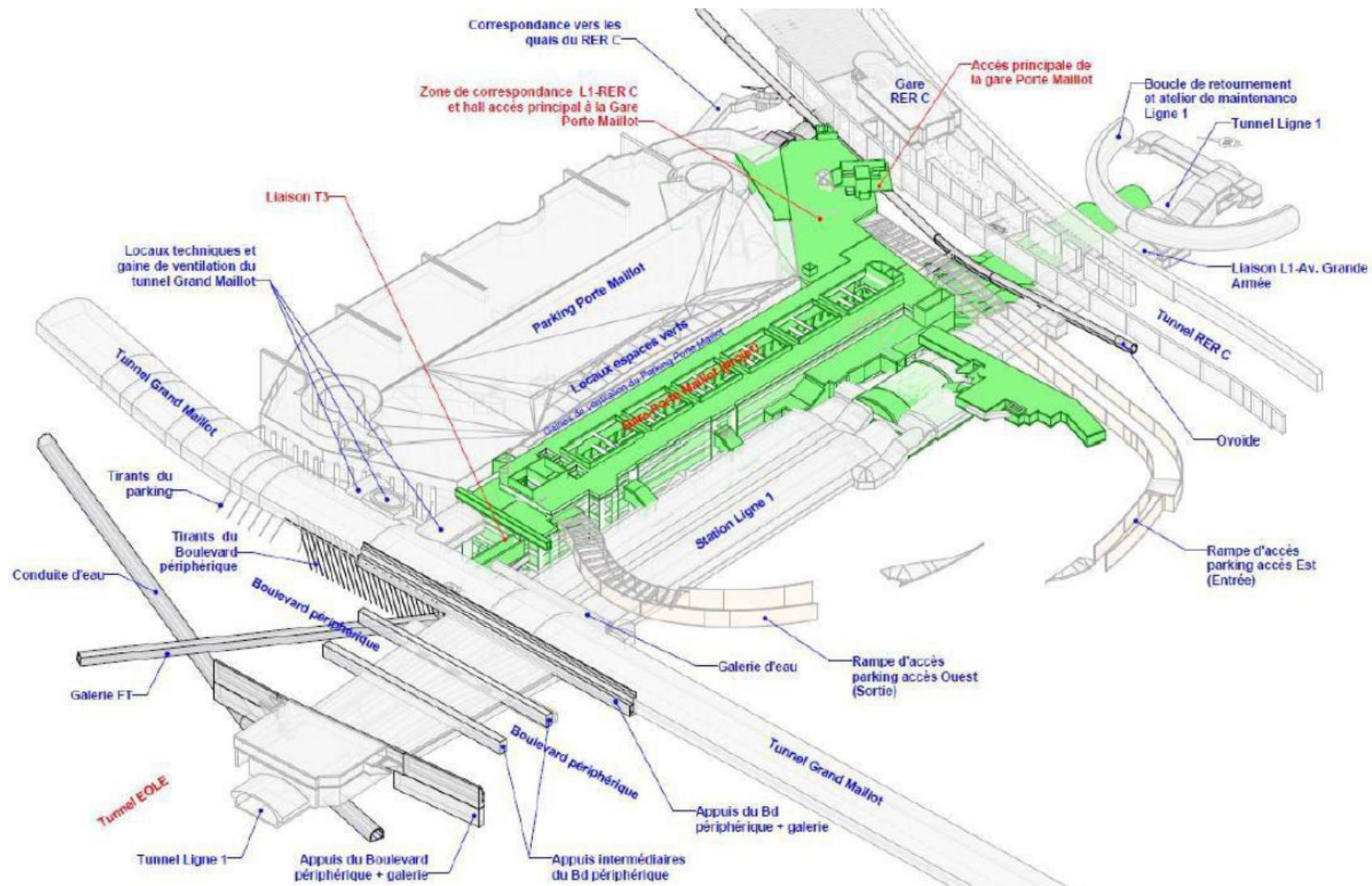
- La haute surveillance: pourquoi, comment ?

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 ?*

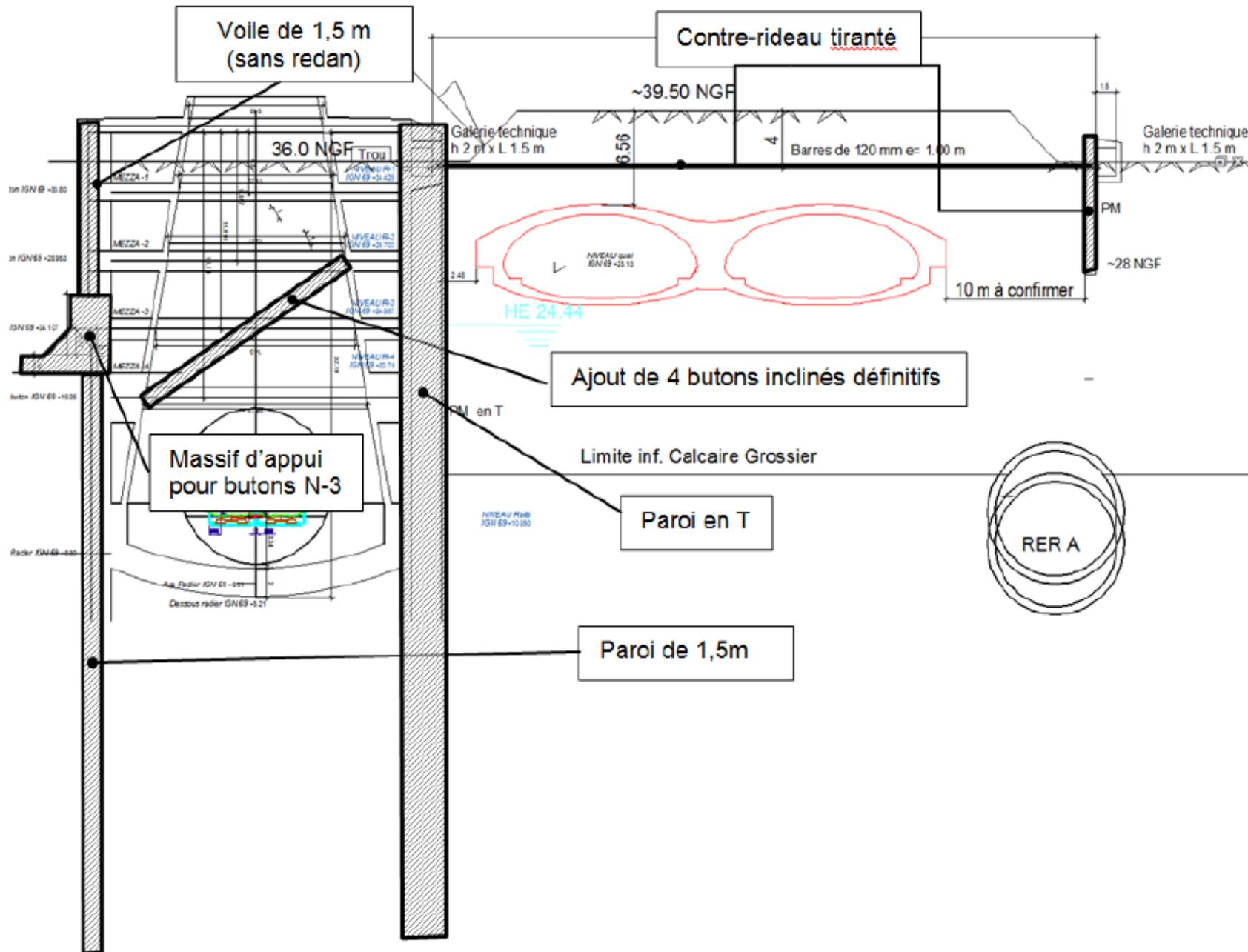
Prolongement RER E : Gare de Porte Maillot

Le plan de la situation de la Gare Porte Maillot :

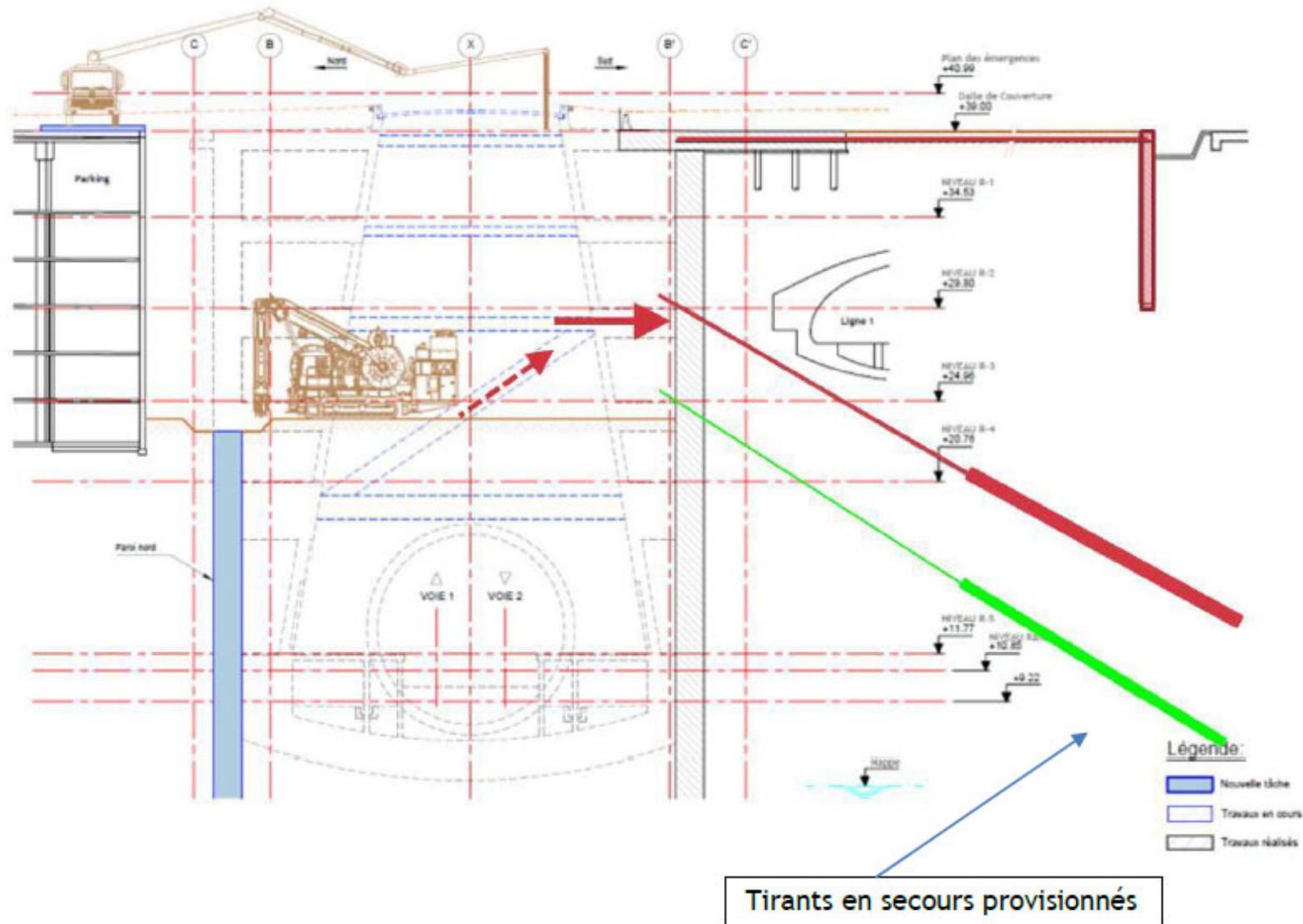


Plan de situation de la Gare Porte Maillot

Prolongement RER E : Gare de Porte Maillot



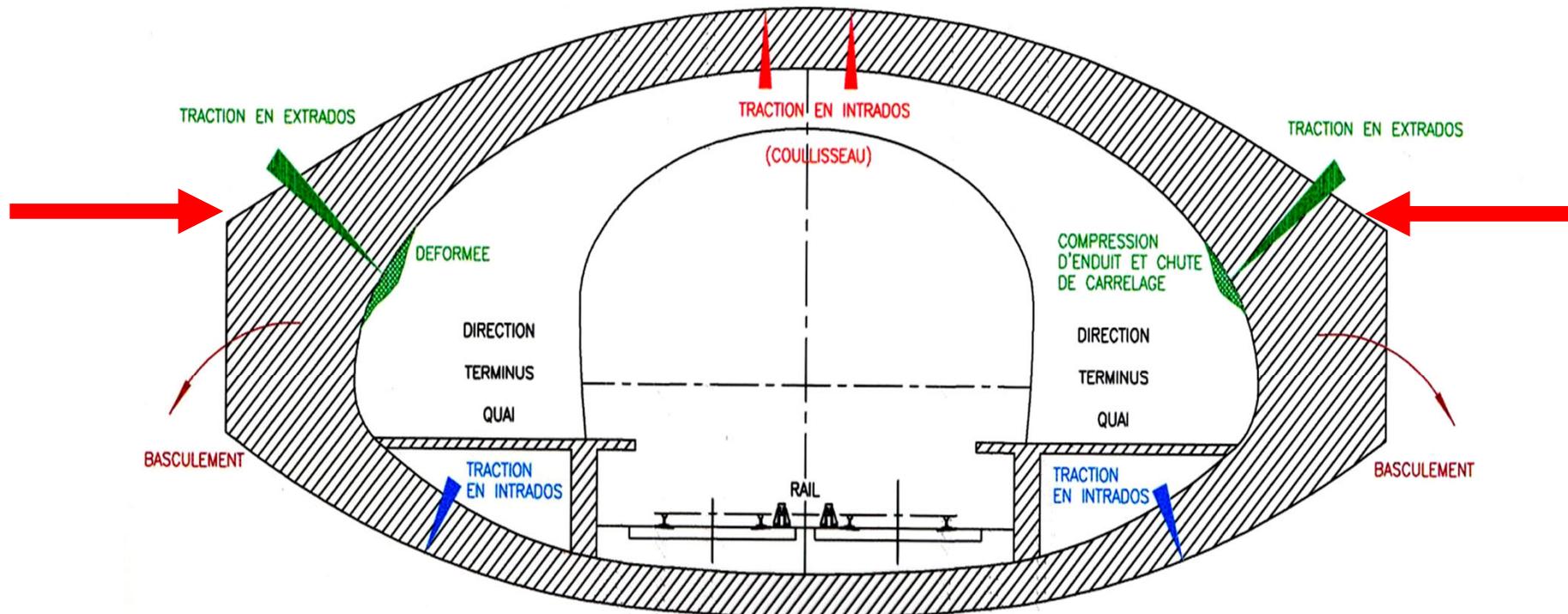
Prolongement RER E : Gare de Porte Maillot



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

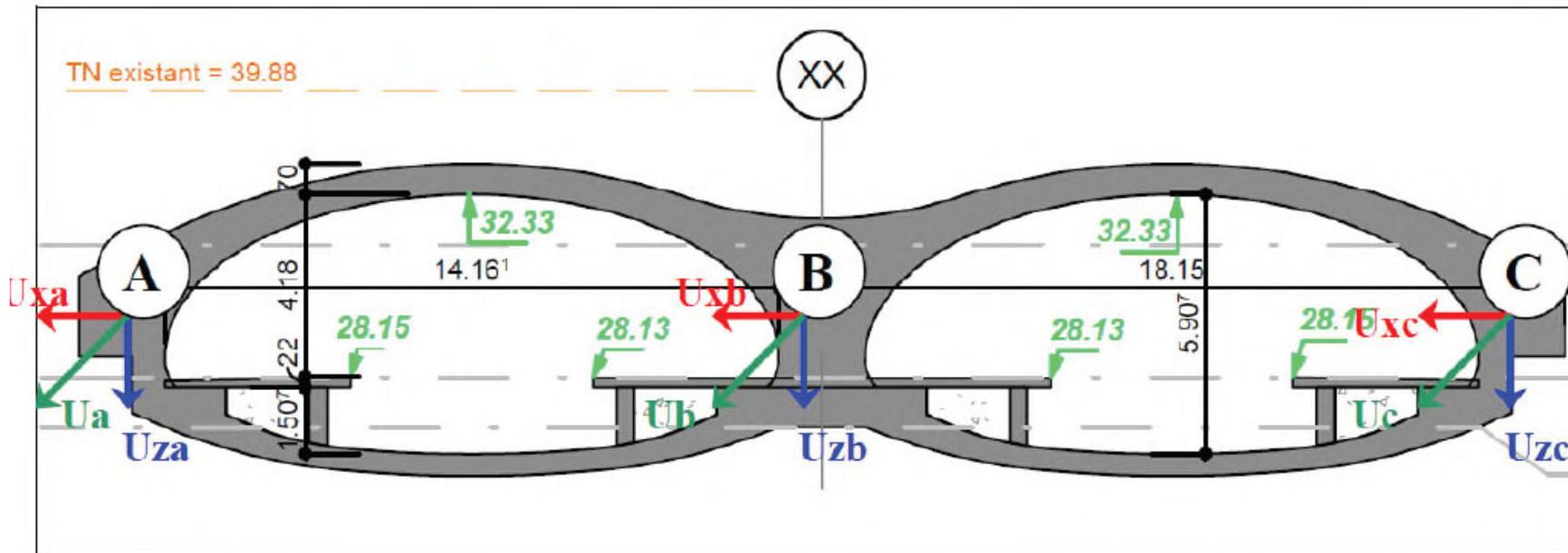
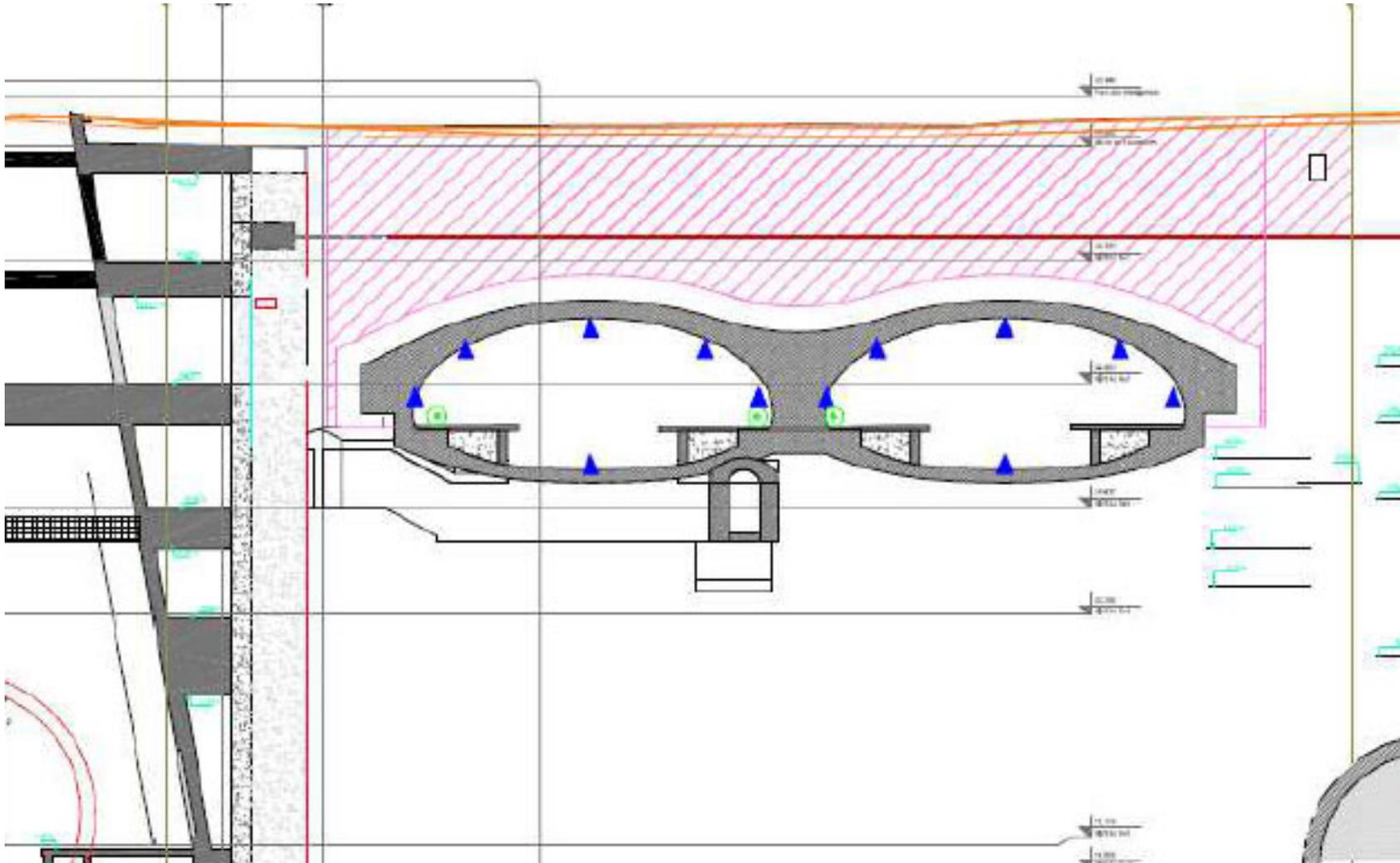


Figure 2 : Vecteurs déplacement pour une station double voûte (GPM)

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 ?