



DIAGNOSTIC ET RENFORCEMENT D'UNE PILE HISTORIQUE – GARE D'AUSTERLITZ A PARIS

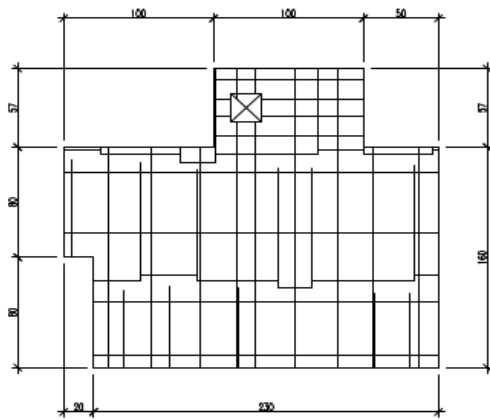


Popinet, A., Mazloun, V.

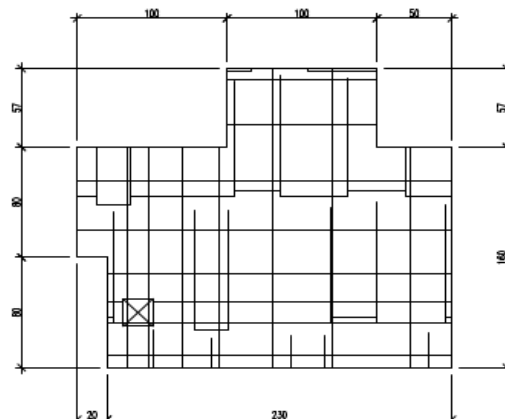
AIA
INGENIERIE



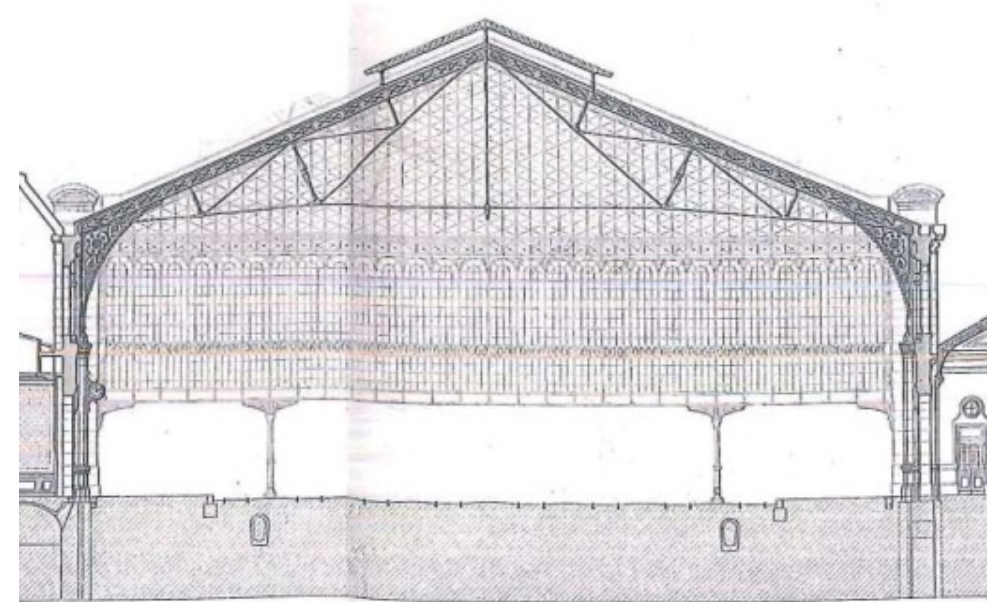
La pile en pierre a été construite lors des travaux de la gare (années 1860)



Appui Bas



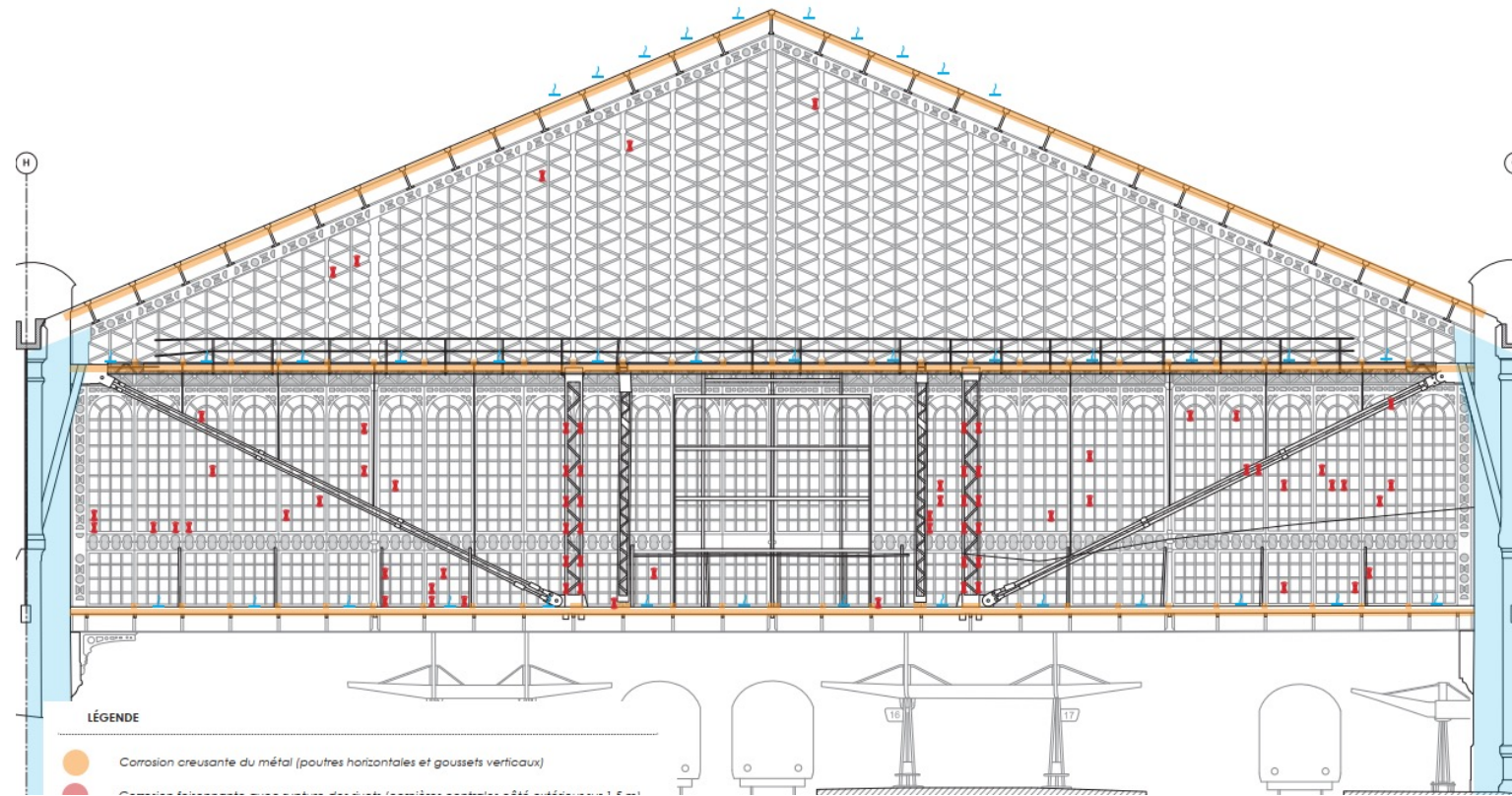
Appui Haut



Coupe transversale

Il s'agit d'une pile mixte, avec pierres calcaires en parement et noyau en briques, de 2,00 m x 2,00 m environ, La portée est de 52 m , avec 2 piles en fonte intermédiaires qui supportent le tympan et la couverture

La modernisation de la gare dans les années 1960 a conduit à la suppression des colonnes en fonte et au report du tympan sur les 2 piles avec le fonctionnement du tympan en poutre échelle



Elévation coté intérieure (extrait du diagnostic du BET Unanime)

Le principe a consisté à créer une poutre échelle avec une membrure inférieure renforcée et soulagée par des tirants qui ramènent l'effort en tête de la pile, la surcharge est répartie par des jambes de force sur 2 niveaux de la pile. La charge totale sur les piles a été sensiblement doublée pour atteindre 223 T en pied. Il ne semble pas qu'il y ait eu de renforcement des fondations (contrainte environ 0,5 bar en pied)



Jambe de force coté extérieur



Jambe de force coté intérieur

Lors des travaux de rénovation de la gare années 2010 / 2020, des désordres ont été repérés sur les piles, dont on peut considérer qu'il s'agit de désordres anciens plus ou moins évolutifs mais qui n'ont pas été monitorés. Un constat des désordres a été réalisé par AIA Ingénierie en février 2023 (BET MOE AREP, Ets Eiffage Pradeau Morin)



Dégradation de la pierre de placage



Éclatement de la pierre

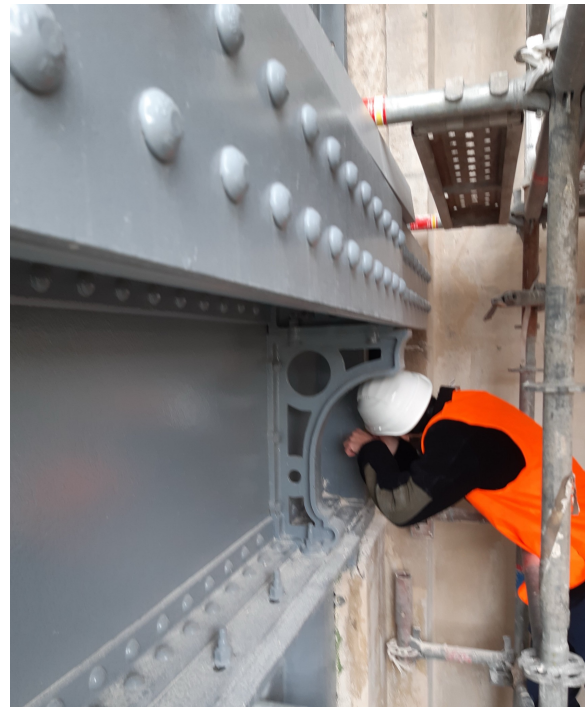


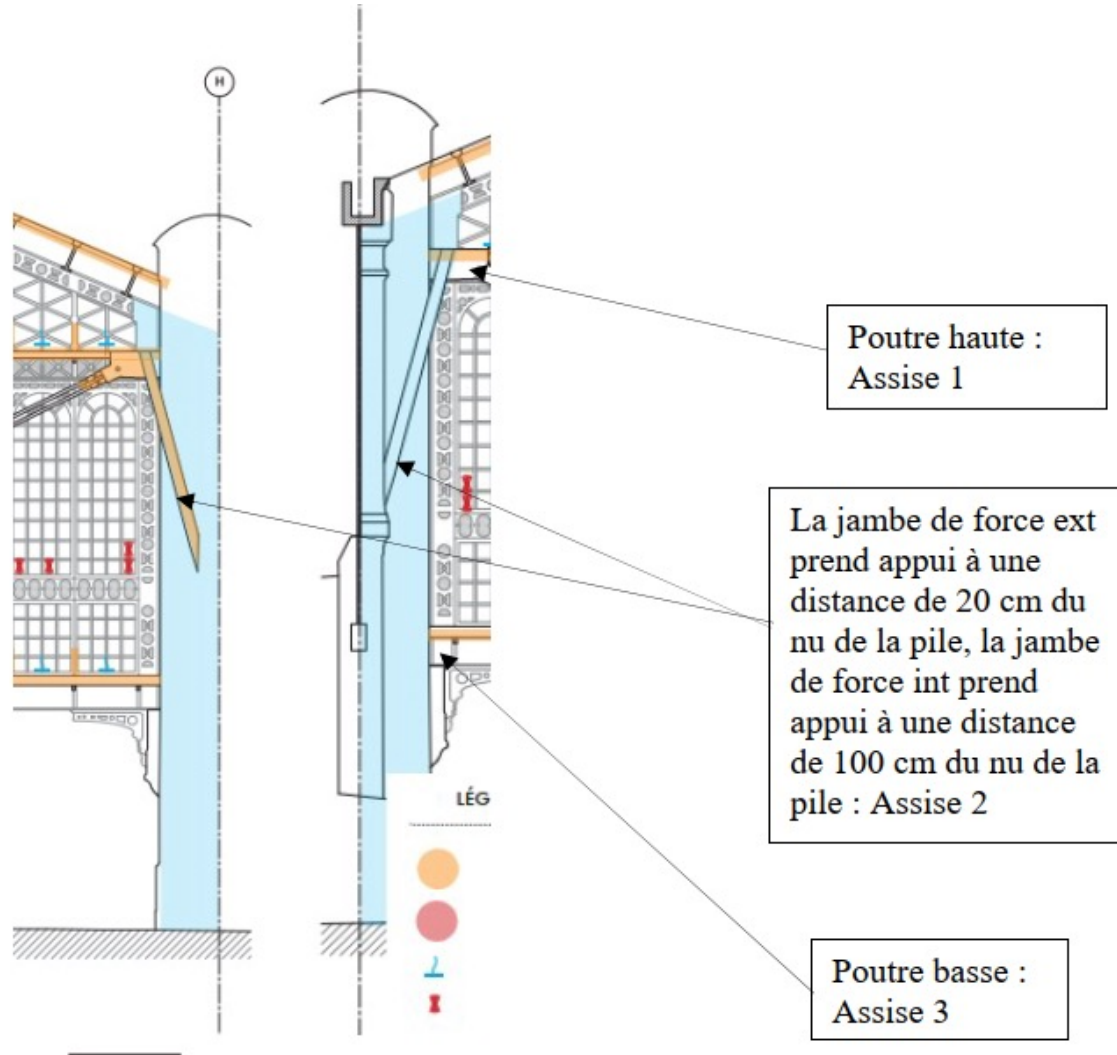
Dégradation des joints



La mission d'AIA a consisté :

- Réalisation du diagnostic structure (relevé des désordres, relevé des sections)
- Estimation de la résistance en compression de la maçonnerie par carottage et essais d'écrasement
- Calcul du Poids propre de la structure et taux de compression dans la pile en fonction de la surface d'appui prise en compte
- Evaluation de la reprise des efforts horizontaux (Vent, jambe de force, dilatation / retrait)
- Modélisation aux éléments finis
- Justification de la pile et calcul du renforcement





Le portique de reprise a 4 niveaux d'appui sur la pile :

- Poutre haute- Assise 1
- 2 Pieds de la jambe de force - Assise 2 et 2bis hte et basse
- Poutre basse – Assise 3

Inconvénients de l'intervention de 1960 :

- La répartition des charges sur chaque appui est fonction de sa raideur → Chaque appui reprend entre 25% et 50% de la charge verticale
- Transmission d'un effort horizontal sur la pile - dont rien ne permet de conclure qu'elle est bloquée en tête et concentration d'un effort sous 2 platines de 30 x 30 avec un risque évident de poinçonnement de la pierre



La valeur f_d est calculée selon les directives de l'EC6

$$f_k = K \times f_b^{0,7} \times f_m^{0,3}$$

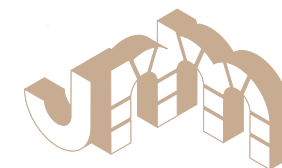
$$f_d = f_k / \gamma_{mac}$$

f_b	15,00	MPa (calcaire moyen de région parisienne)
f_m	2,50	Mpa (résistance moyenne d'un mortier à la chaux hydraulique)
$f_d (ELU)$	1,31	MPa
γ_M	3,00	
K	0,45	

$$f_d (ELS) \sim 1,00 \text{ Mpa}$$



Résultat sécurisant qui tient compte d'une relative hétérogénéité du montage



Approche manuelle

ouvrage	surface (m²)	pp (DaN/m²)	total (daN)
Tympan façade	430	100	43000
couverture	140	100	14100
tympan en rive	42,5	100	4250
	volume (m3)	masse vol (DaN/m3)	
pile (4,5 m²)	81	2000	162000
Total			223300

Soit un taux de compression dans la pierre – sur la base d’une charge centrée de $\Gamma = 0.49$ Mpa

Si on répartit linéairement la charge du tympan + couv + rive : 61 T sur 4 appuis, la charge par appui est de 15 T localement (non pondéré) .

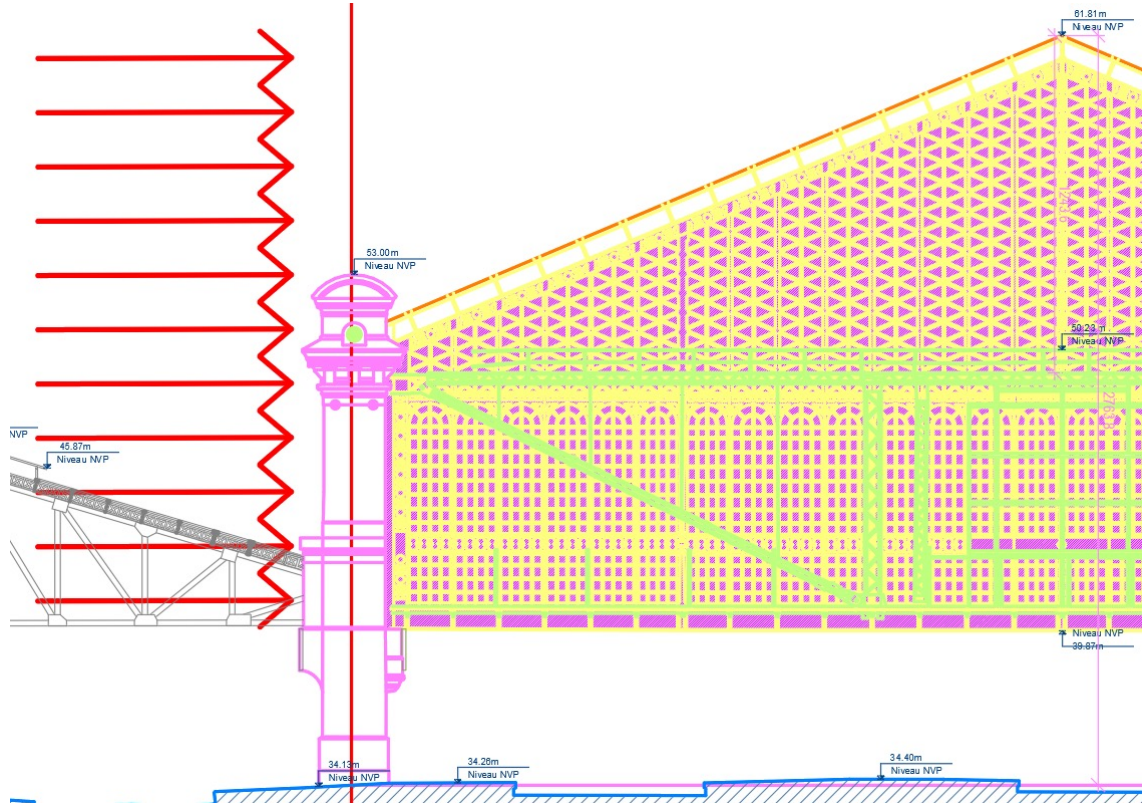
Sous la jambe de force et sa platine de 30 x 30 cm² environ, la compression est de l’ordre de 1.7 Mpa à cumuler avec la pile au dessus et l’ appuis au dessus soit 0.2 Mpa ce qui fait un total de de l’ordre **de 2 Mpa ELS**

La charge verticale sous les platines des jambes de force (sans prise en compte du vent et du gradient thermique) semble bien la cause des désordres.

De plus, la répartition « linéaire » des efforts est très théorique. (cf calcul aux éléments finis ou la charge sur les platines peut atteindre 30 à 40 T , soit un taux de travail de l’ordre de 4 MPa sous les platines)



Approche manuelle



Effort du vent :

La force exercée sur la façade est estimée à 83 kg/m².

La surface reprise par le tampon sud est égale à 43 m² (on ne considère pas la charge horizontale sur la toiture qui créera un soulèvement). On a donc une charge horizontale totale d'environ 3,6 T qui s'ajoute aux charges horizontales dû aux efforts verticaux.



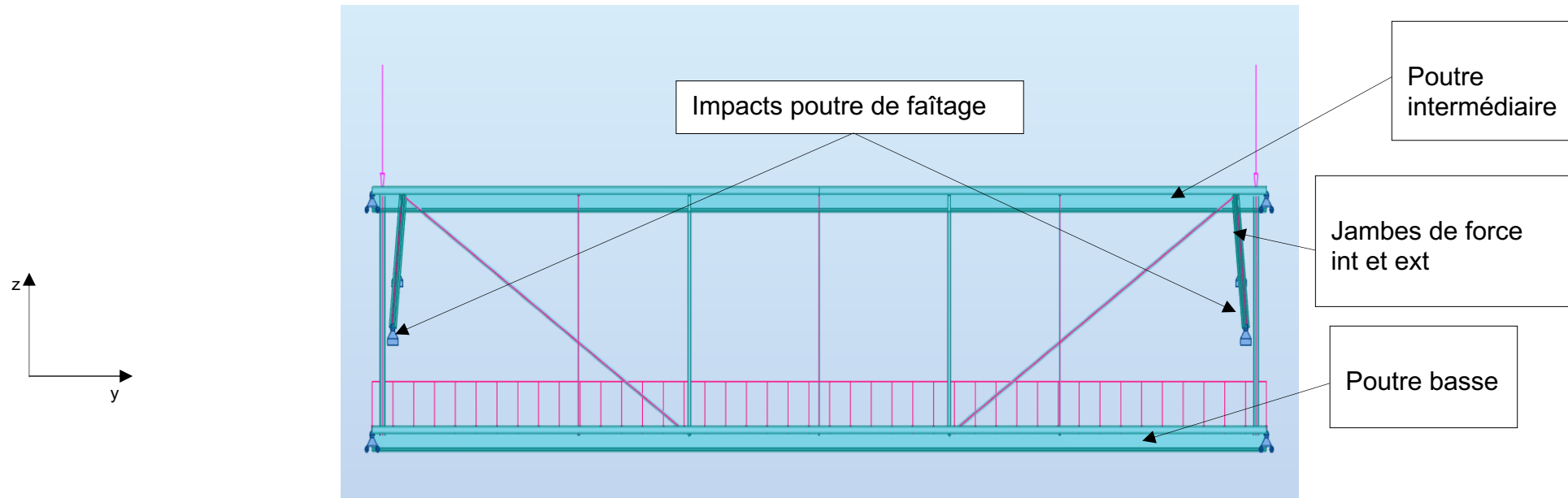
Approche modélisation aux éléments finis

Cette approche consiste à modéliser les profilés métalliques s'appuyant sur les piles, en essayant de se rapprocher le plus possible de la réalité.

Cela permet d'estimer la répartition des charges sur la pile par rapport aux différents appuis tout en considérant la raideur des différents éléments et les conditions d'appuis.

La poutre intermédiaire et la poutre basse sont modélisées avec des appuis glissants (déplacement bloqué uniquement en Z).

Les jambes de force sont considérées avec des appuis bloquants les déplacements en Z et Y).





Appuis	Réaction d'appuis verticales Rz état actuel	Réaction d'appuis horizontales Rz état d'origine	Réaction d'appuis horizontales Ry état actuel
Poutre intermédiaire	-3 tonnes (soulèvement)	15,1 tonnes	-
Poutre basse	-7,5 tonnes (soulèvement)	7,5 tonnes	-
Jambe de force intérieure	43 tonnes	-	4,2 tonnes
Jambe de force extérieure	31 tonnes	-	5,4 tonnes
Total	63,5 tonnes	22,6 tonnes	9,6 tonnes

On observe que les modifications réalisées (les renforts ajoutés et les poteaux supprimés) ont **augmenté des charges verticales** (d'environ 2,8 fois) **et modifié la répartition des charges verticales sur les différents appuis de la pile.**

De plus, on a des charges horizontales (9,6 T) qui s'ajoute aux charges du vent (4 T) appliquées selon notre modèle au niveau des jambes de force.

Les efforts horizontaux créent de la compression localisée sur une partie de la section et de la traction dans l'autre partie. Cette compression complémentaire est à prendre dans la vérification au cisaillement à la base de la pile.



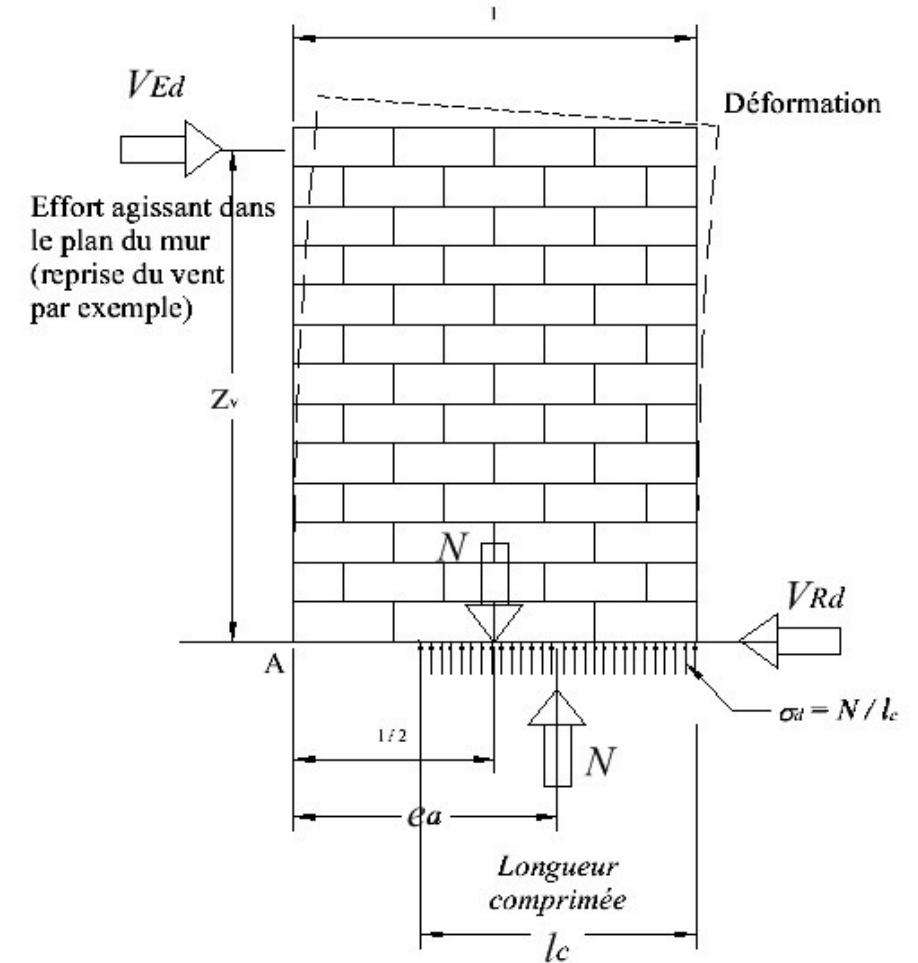
Vérification de la stabilité globale de la pile :

$$M_s = 223 \times 1 = 223 \text{ T.m}$$

$$M_r = (5,4 + 4,2 + 3,6) \times 10 = 132 \text{ T.m}$$

$$M_s/M_r = 1,7$$

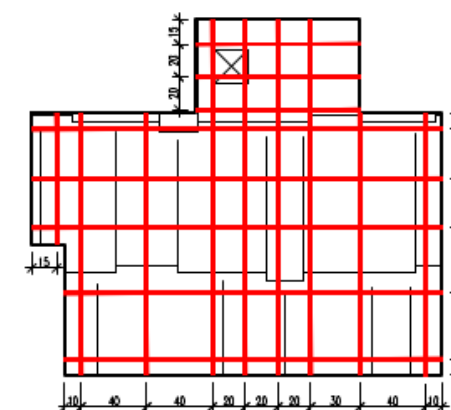
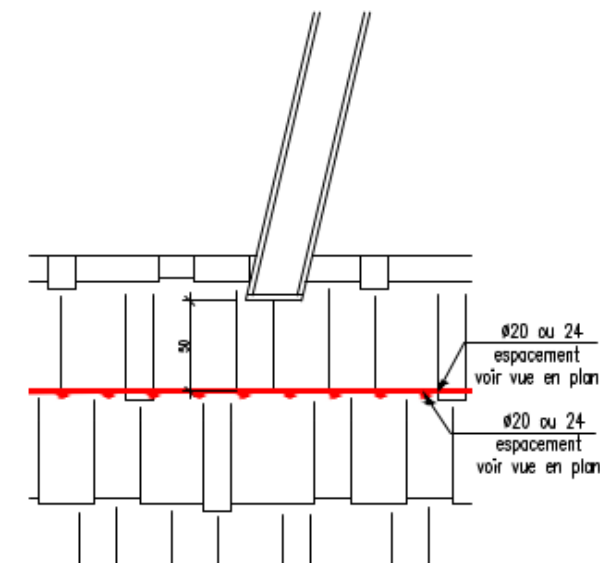
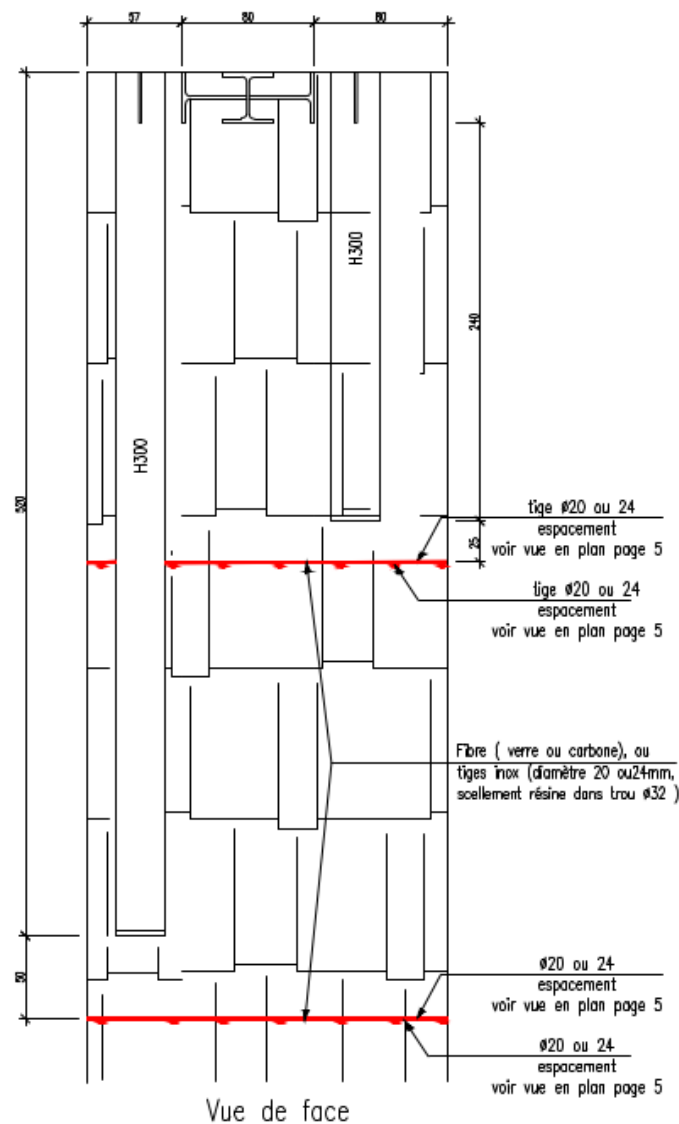
La vérification ci-dessus est cohérente avec les constats réalisés durant nos visites : **la stabilité globale de la pile 29 n'est pas remise en question.**





Les désordres observés sur la pile viennent essentiellement des **concentrations de charge sous les platines des jambes de force**. Comme il serait extrêmement complexe de soulager cet appui, et que ceci nécessiterait de « soulever » le tympan et des reprises sur les maçonneries – avec le risque de nouveaux désordres du fait d'un re- distribution des efforts, notre proposition, est allée **dans le sens d'homogénéiser la maçonnerie sous les jambes de force**, et de créer ainsi un « sommier » en pierre selon le schéma suivant.

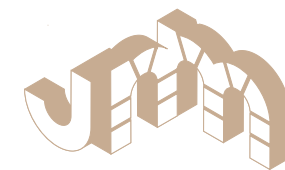
Il s'agit de sceller des barres dans les 2 directions dans le lit de pierre sous chacun des appuis.



Appui Bas



Exécution des scellements fibres / résine pour homogénéiser les assises : Sté Rénohors



Merci de votre attention

