

Le Monde

Paris, XIII^e

Sébastien Seret
sseret@greisch.com





Corentin Pesesse



Joachim Du Four



Charles Havelange



Sébastien Seret



Lotfi Hamra



Lam Ly



Raphaël Ludwig



Manuel Elias



Michel Vanwildereren



Régis Delavignette

Le Monde

- **Crédits photographiques**

© **Ecliptique – Laurent Thion**

Snøhetta Arkitektur Landskap

Eiffage Métal

Archives SEMAPA

Daniel Rousselot Photographe

Google Earth



Le Monde

- **Présentation**
- Missions Greisch
- Tabliers existants
- Montage – Contreflèches
- Comportement global
- Etudes des noeuds
- Déverinage



Le Monde

- **Maître d'Ouvrage**

Banque Populaire
Société Editrice du Monde

- **Architectes**

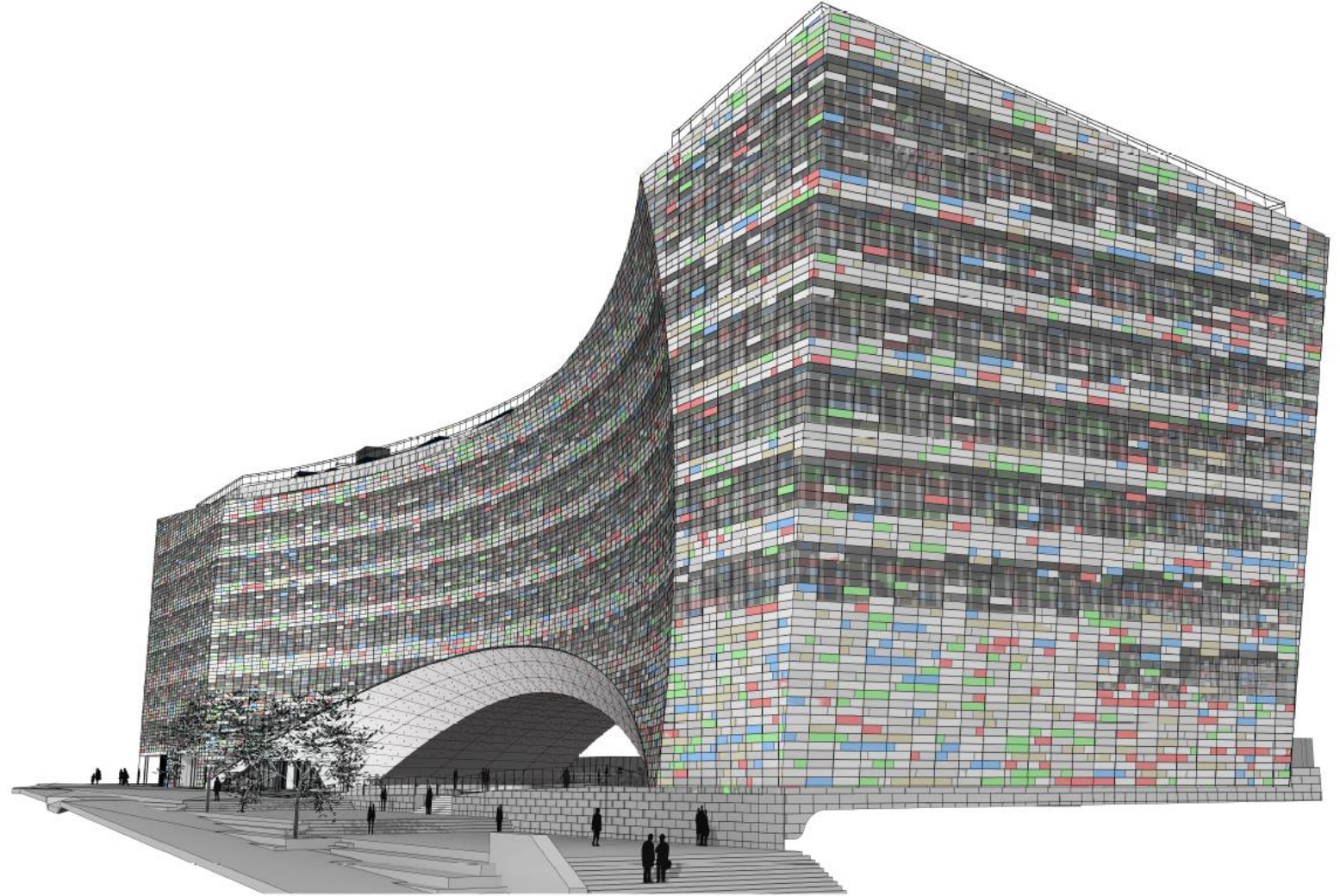
Snøhetta
SRA

- **Conception phase Projet**

Khephren
Arcora

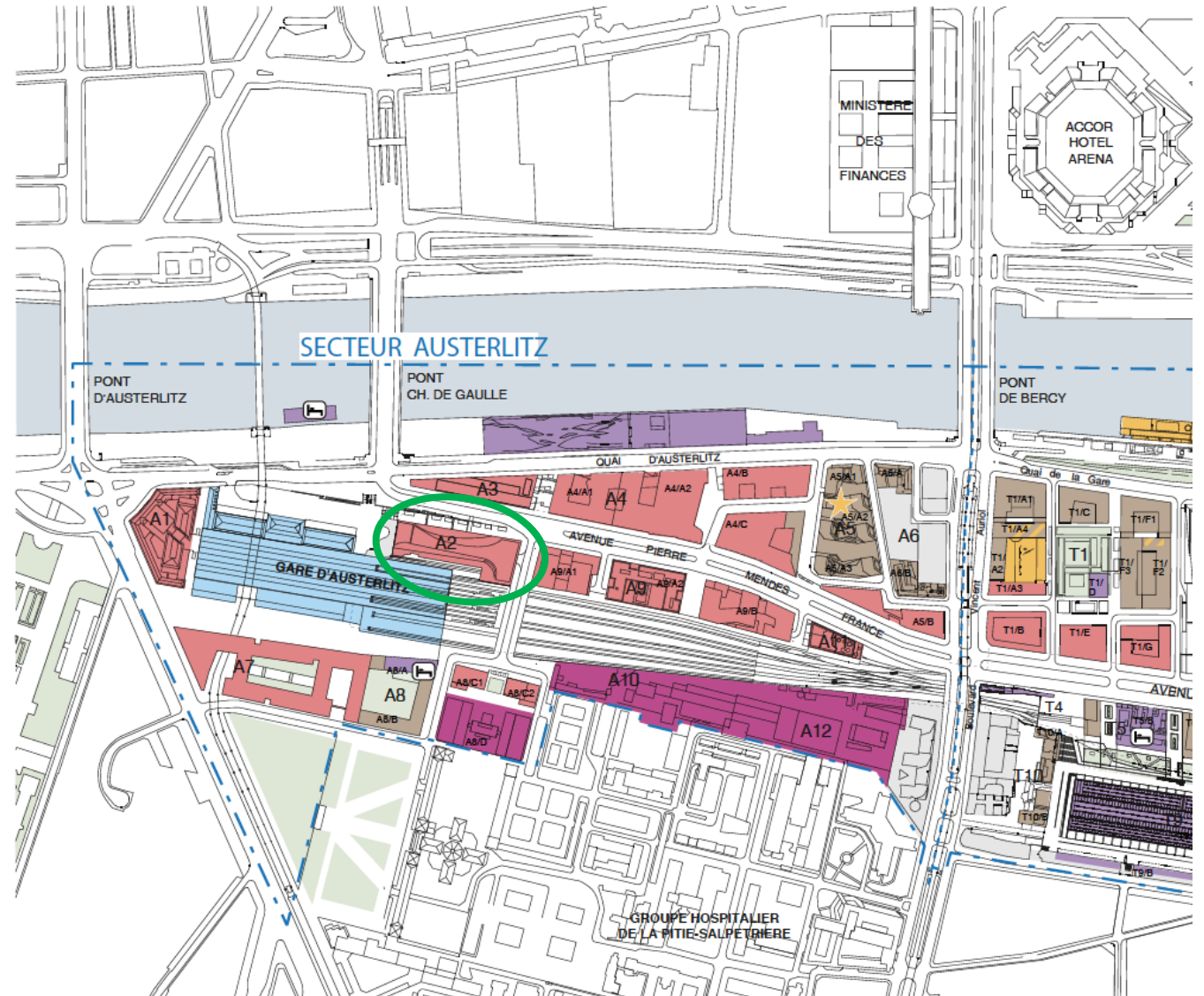
- **Entreprises**

EIFFAGE Métal
EIFFAGE Génie Civil
GOYER



Projet Snøhetta (image consultation). Projet lauréat

Site de construction restreint



Le Monde

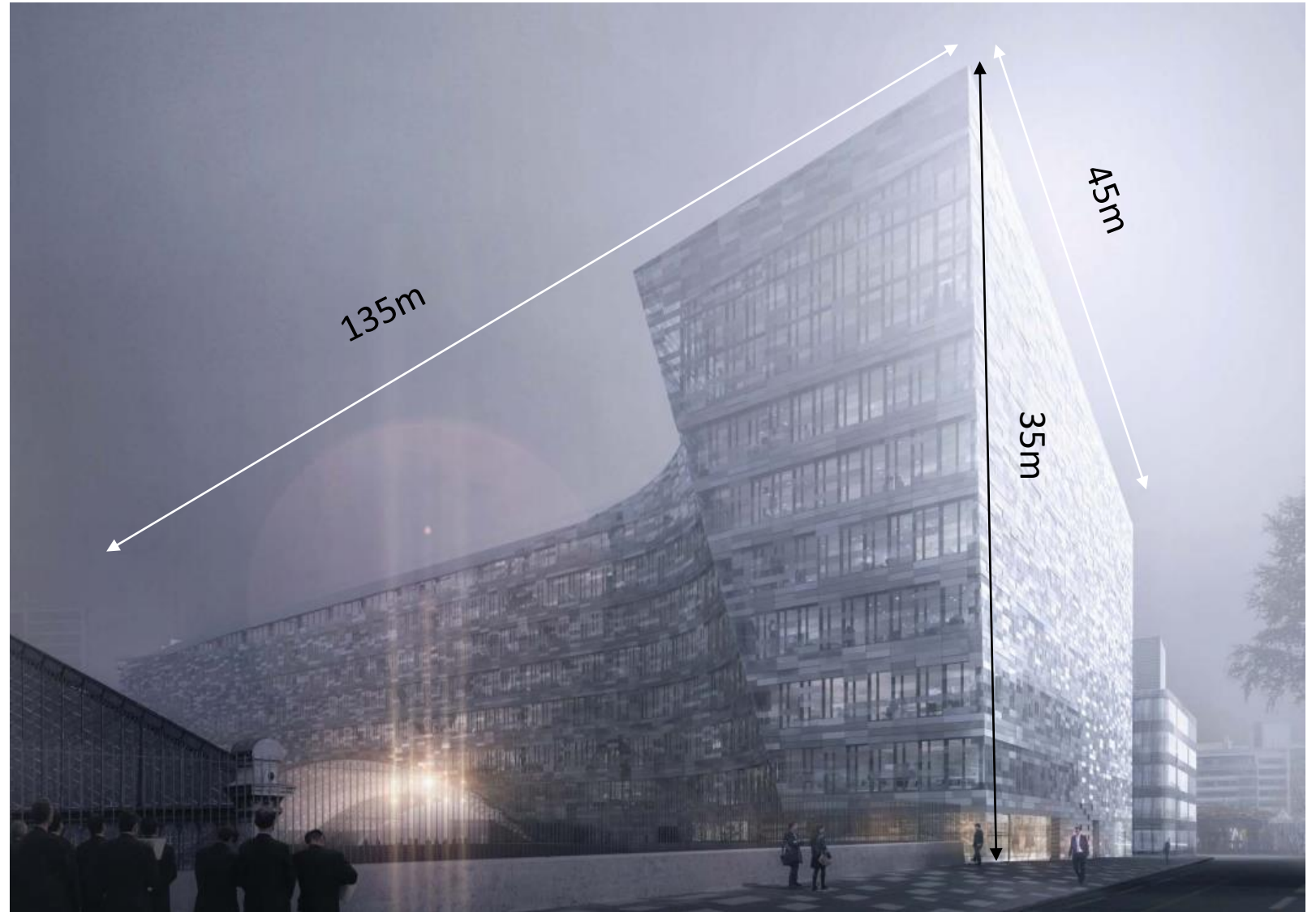
Site de construction restreint



Le Monde

Chiffres clés

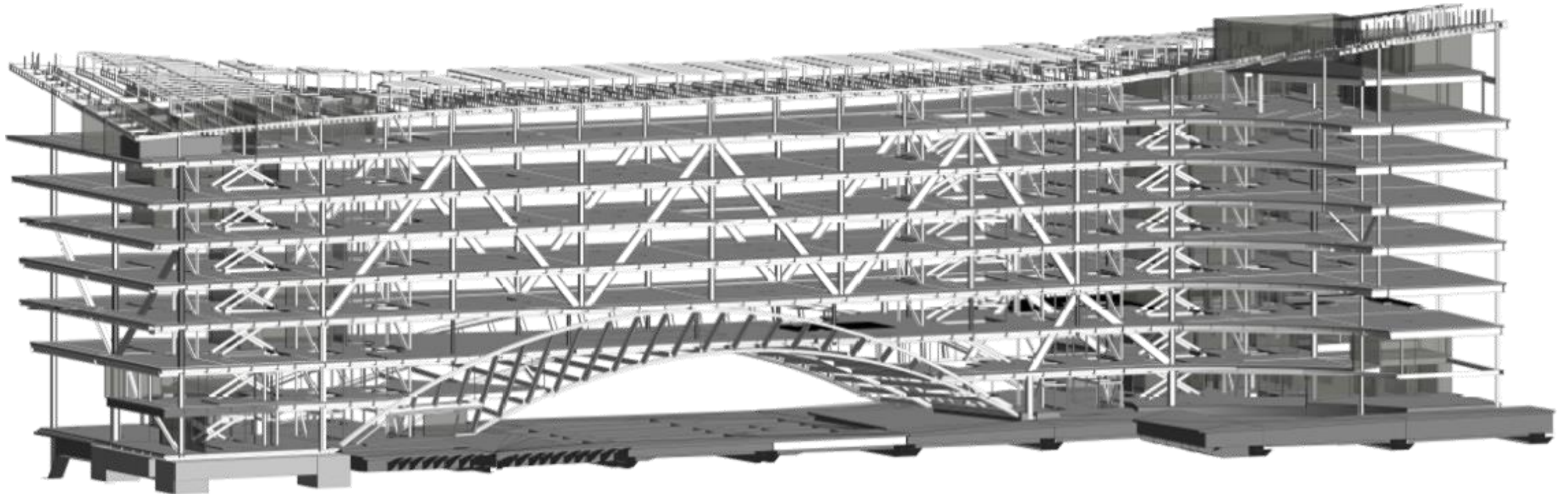
- 7 étages
- 5200 tonnes acier
- 23000 m² planchers mixtes
- 10 000 m² façade double-peau



Le Monde

Fonctionnement structurel

- 2 poutres treillis de 80m de portée et de 15m de haut
- Fonctionnement mixte béton/charpente pour la stabilité du bâtiment



Le Monde

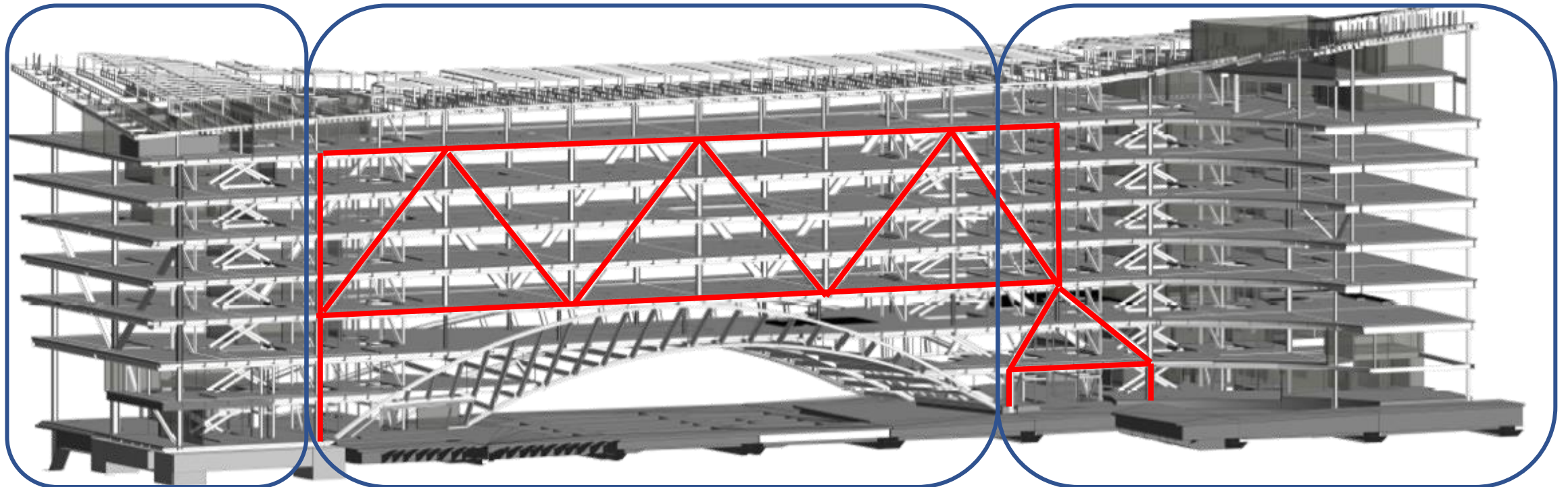
Fonctionnement structurel

- Bâtiment pont

Pile Nord

Structure de franchissement

Pile Sud



Le Monde

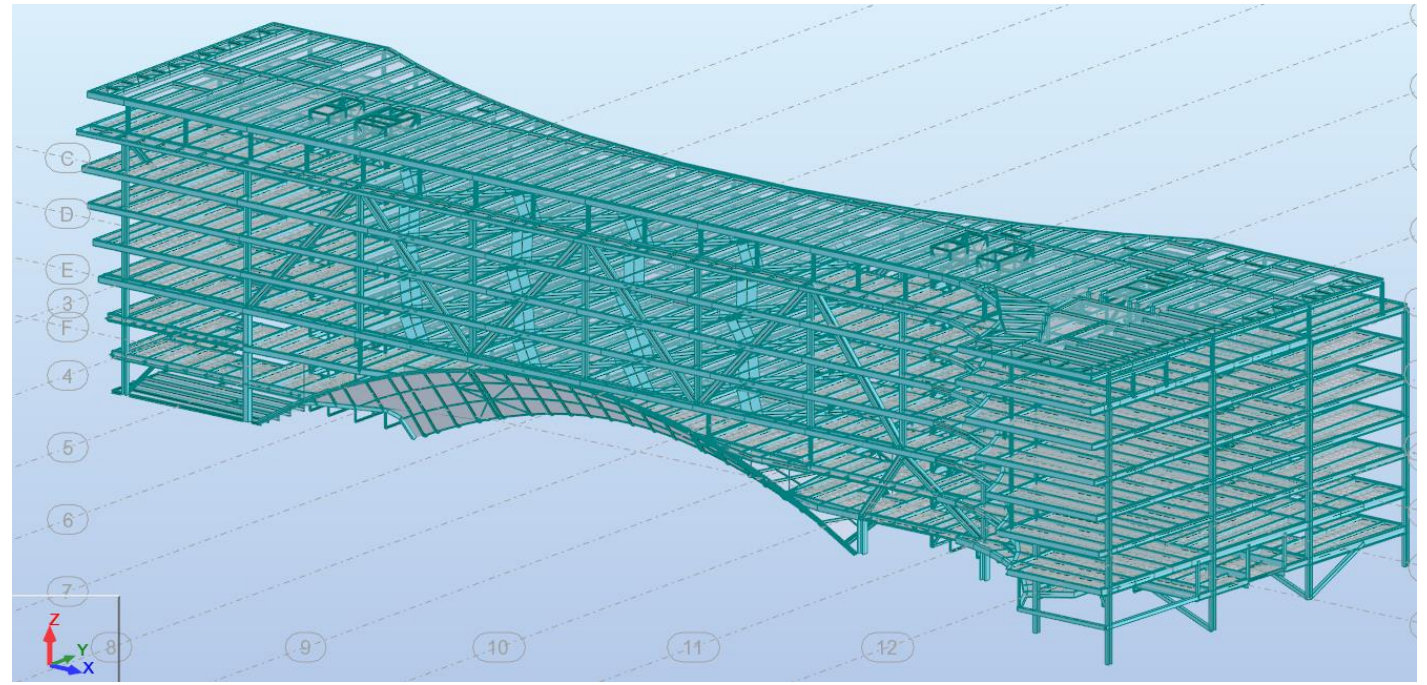
- Présentation
- **Missions Greisch**
- Tabliers existants
- Montage – Contreflèches
- Comportement global
- Etudes des noeuds
- Déverinage



Etudes EXE

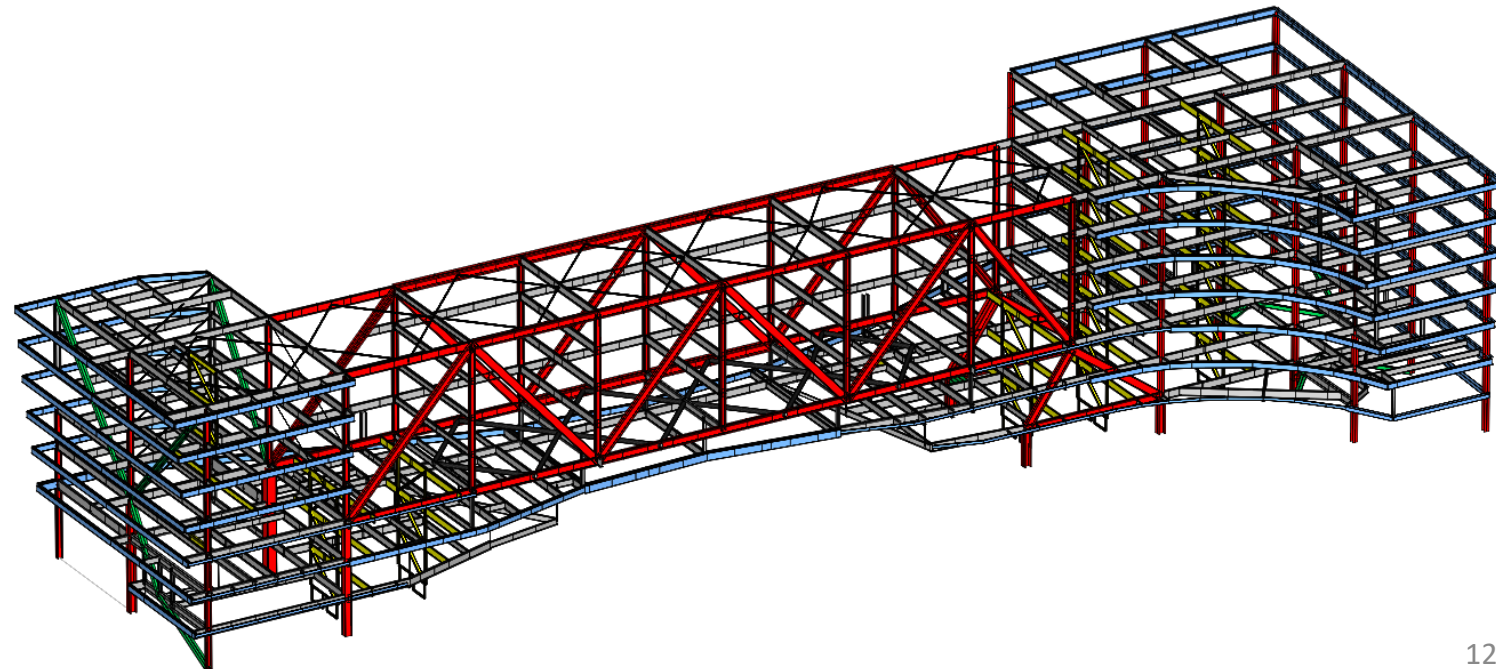
- Etudes détaillées - BE Eiffage

- Toutes les sections
- Assemblages
- Planchers mixtes
- Façade



- Missions Greisch

- DDC
- Vérifications tabliers existants
- Comportement global
- Contreflèches
- Etudes des noeuds du treillis
- Etudes du montage



Le Monde

- Présentation
- Missions Greisch
- **Tabliers existants**
- Montage – Contreflèches
- Comportement global
- Etudes des noeuds
- Déverinage



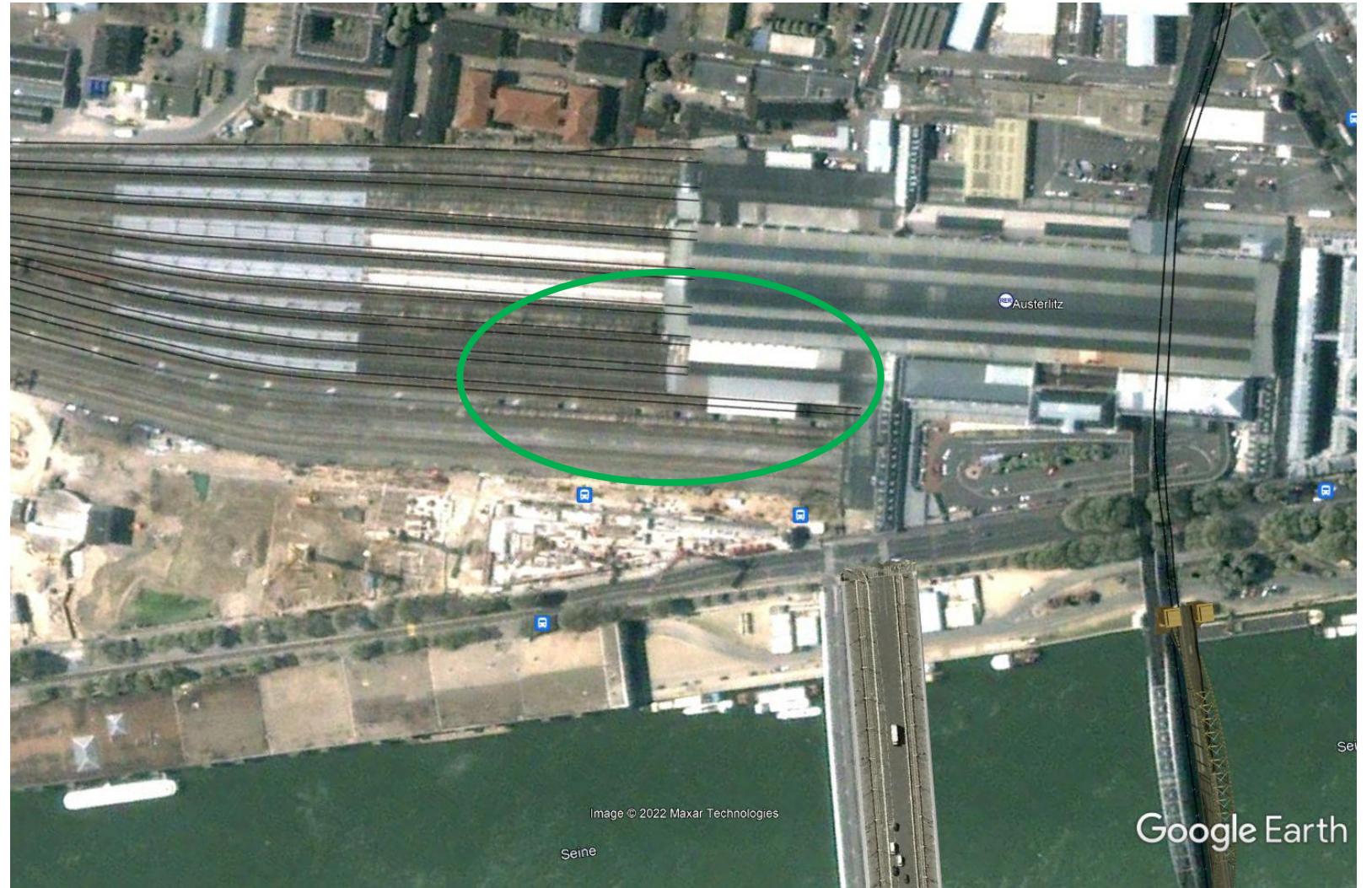
Tabliers existants

Situation 2022



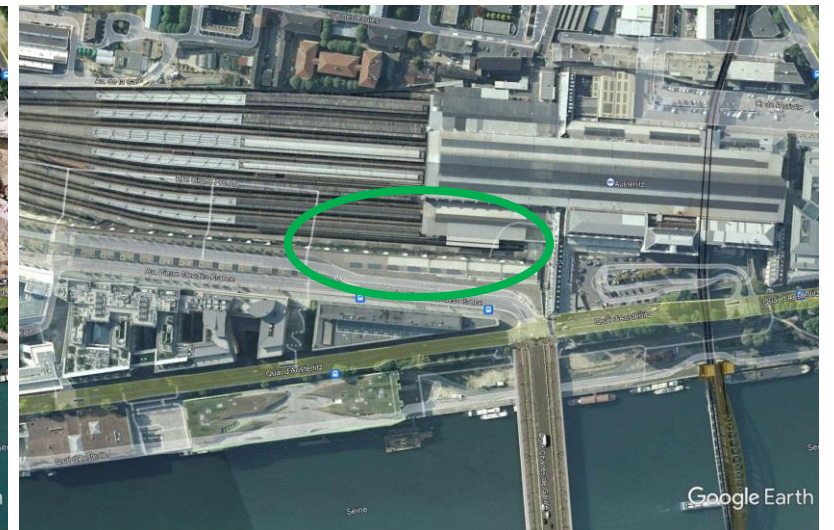
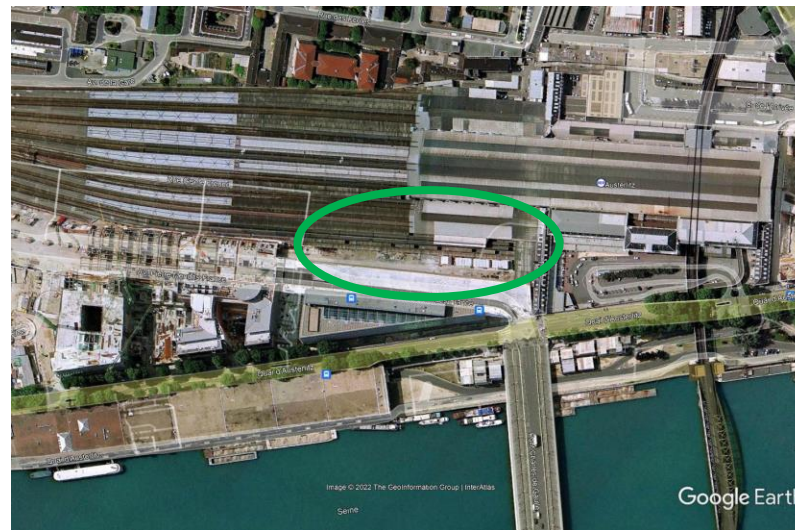
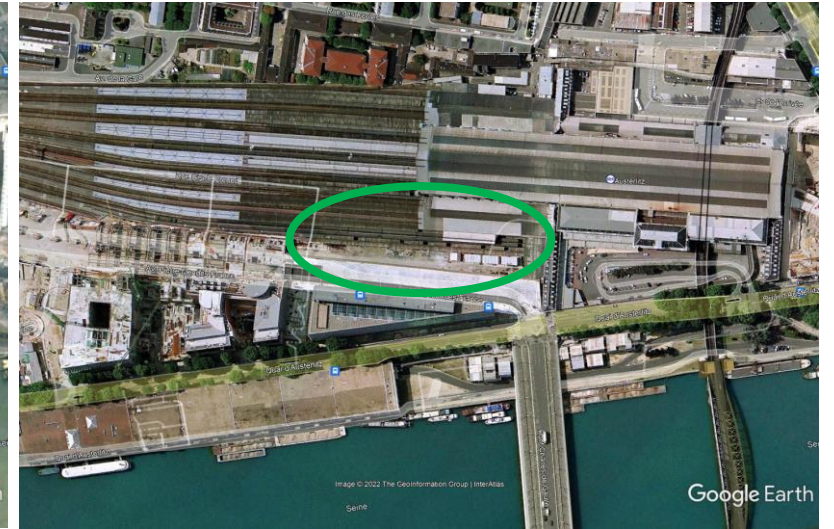
Tabliers existants

Situation 2001



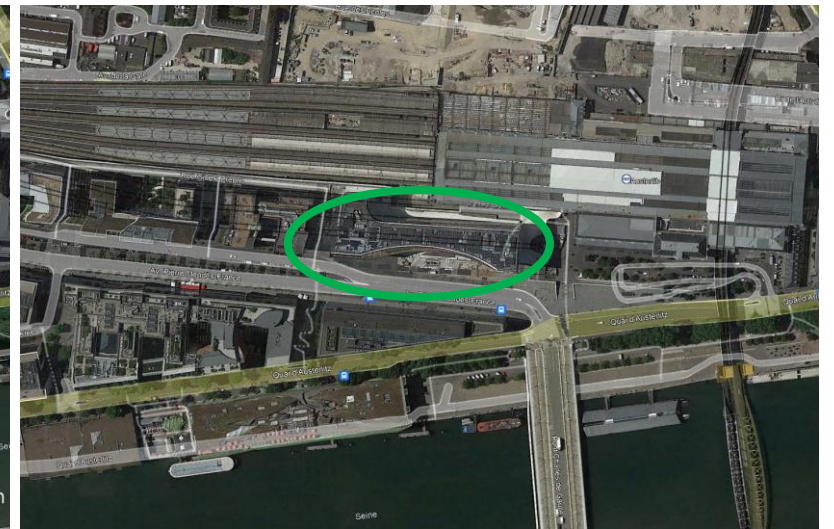
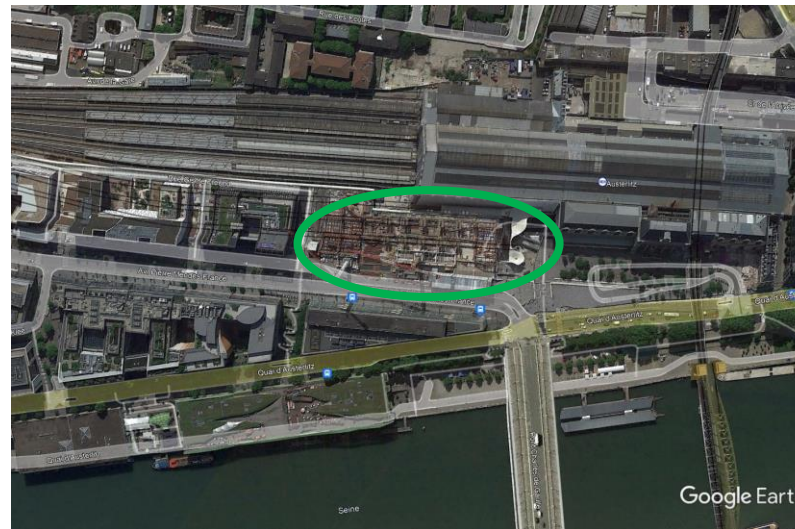
Tabliers existants

Situation 2002 - 2004
Situation 2008 - 2011



Tabliers existants

Situation 2014 - 2017
Situation 2018 - 2020



Tabliers existants

Couvertures de voies

- Poteaux métalliques enrobés
- Poutres métalliques
- Double dalle BA (Rf 3h)



Tabliers existants



Tabliers existants

Tablier 3

Tablier 2

Tablier 1



Tabliers existants

Tablier 3

Tablier 2

Zone non constructible (max 1To/m²)

Tablier 1

IGH



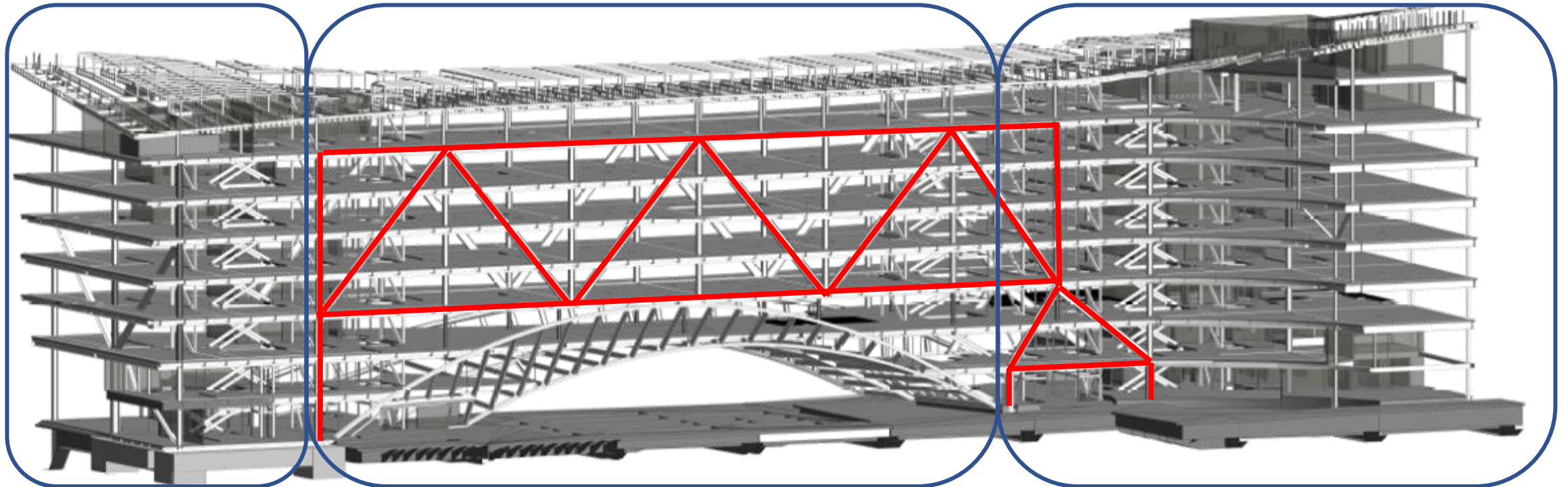
Le Monde

Bâtiment pont

Pile Nord

Structure de franchissement

Pile Sud



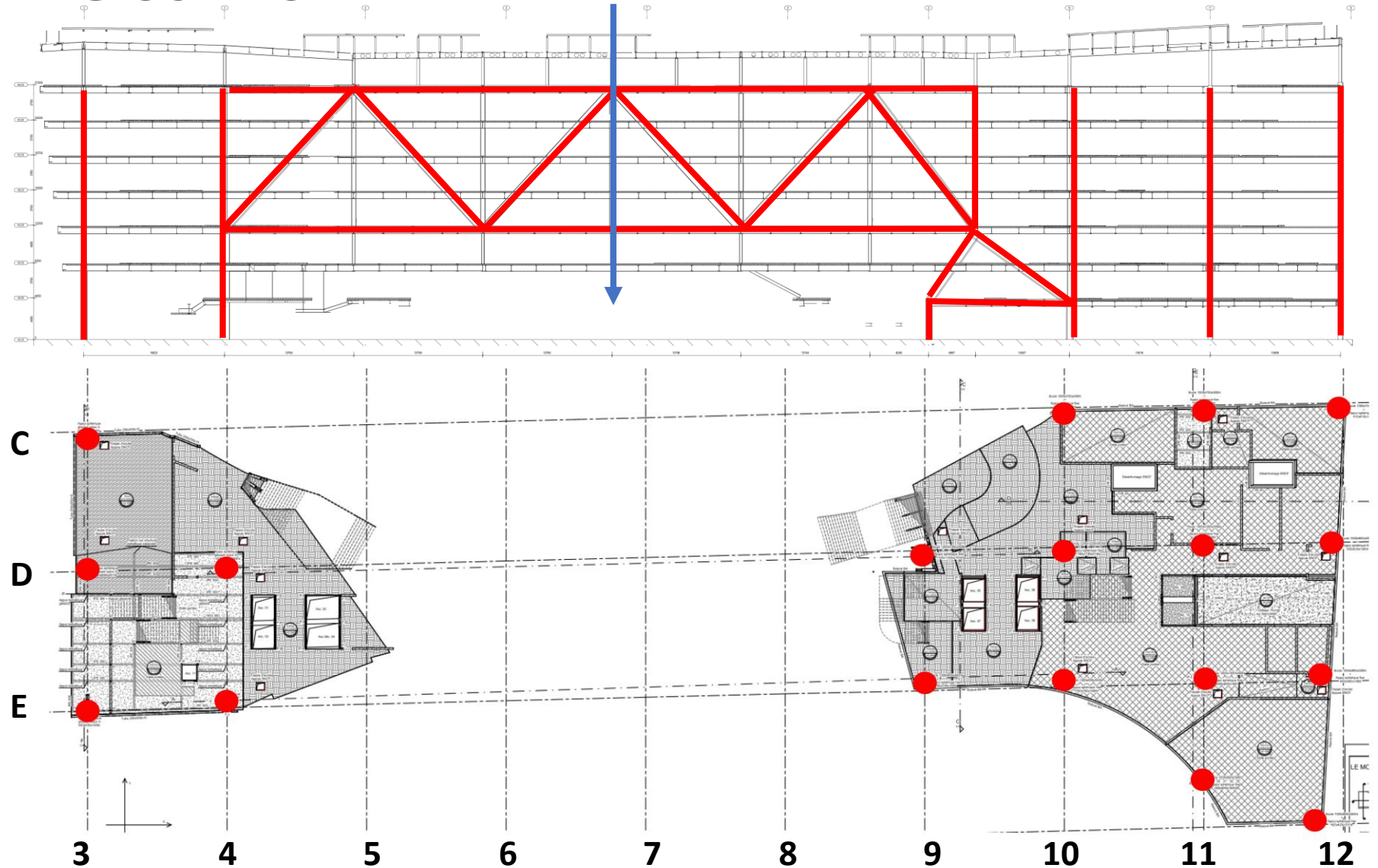
Tablier 1 – IGH

Tablier 2 – non constructible

Tablier 3

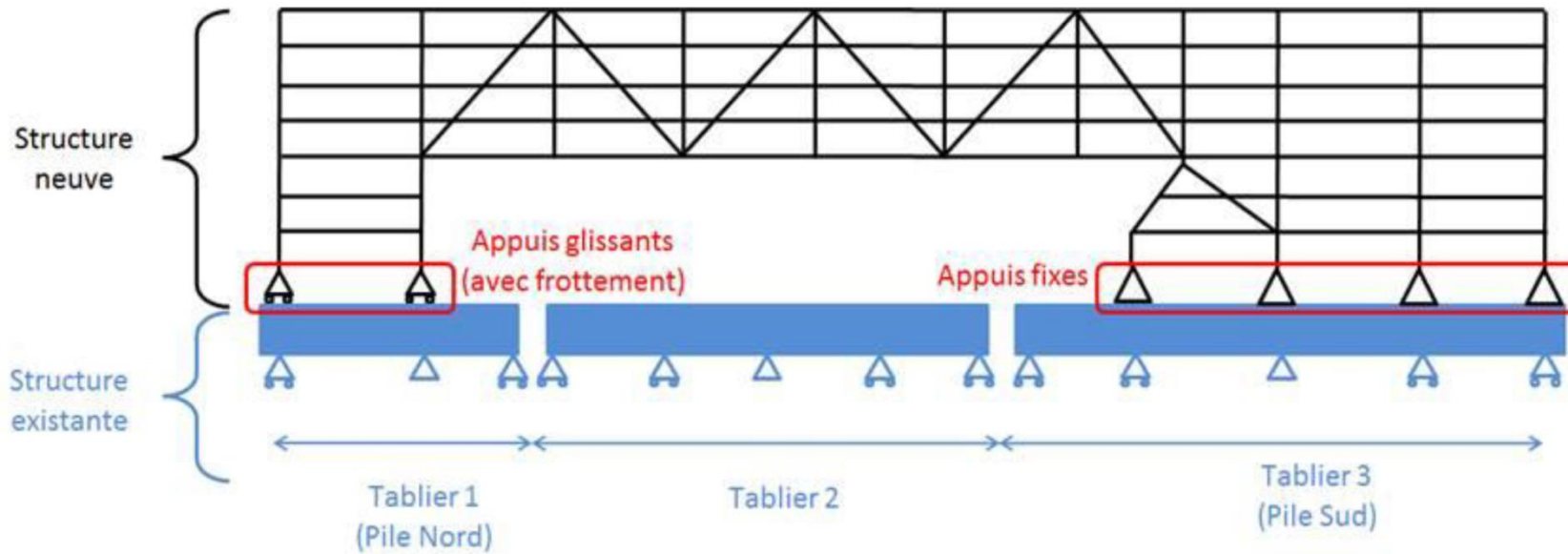
DDC sur existant

- Charges perm
21000 tonnes
- Exploitation
9000 tonnes
- Tablier 1 : 37%
- Tablier 3 : 63%



Etudes PRO

- Comportement NL appareils d'appuis

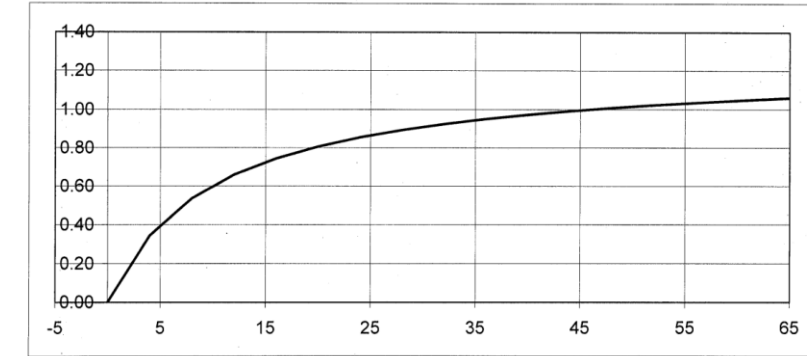


- Très complexe à étudier

EFFORT HORIZONTAL H TRANSMIS PAR UN APPAREIL D'APPUI A POT
DE SURFACE D'ELASTOMERE DONNEE S
EN FONCTION DE L'EFFORT VERTICAL N

En abscisse N/S

En ordonnée H/S



- Appui à pot :

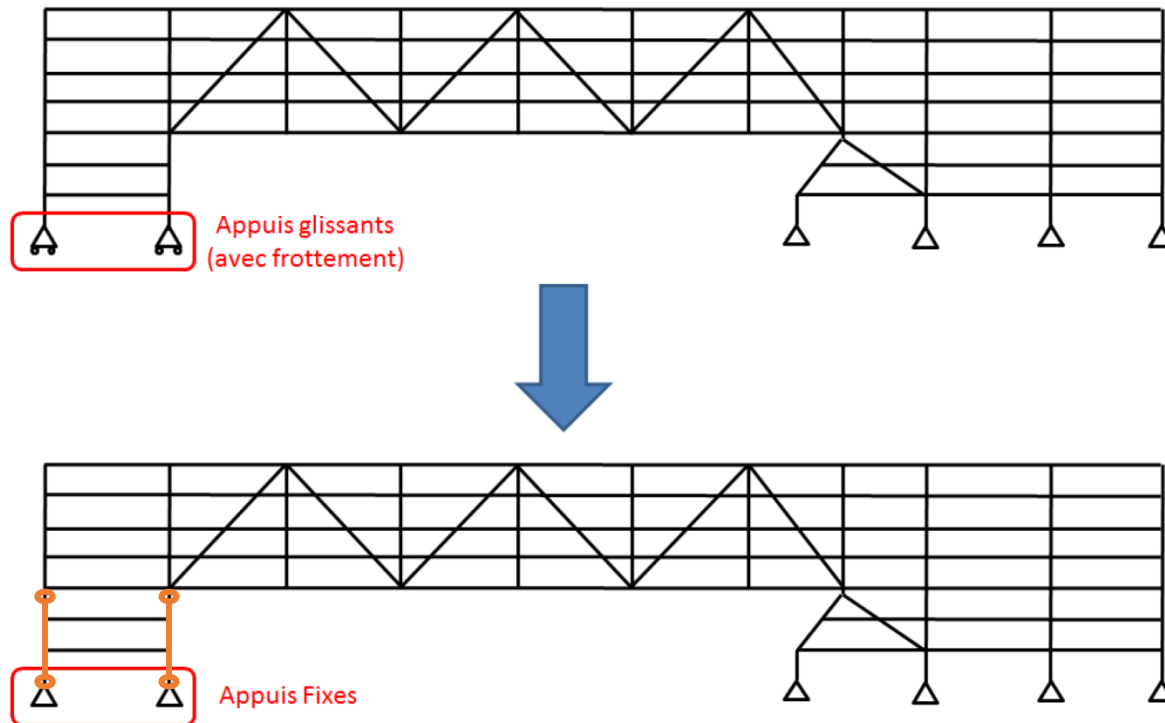
- $$\mu = \frac{1,2}{10 + \sigma_{PTFE}}$$

- Appui sphérique :

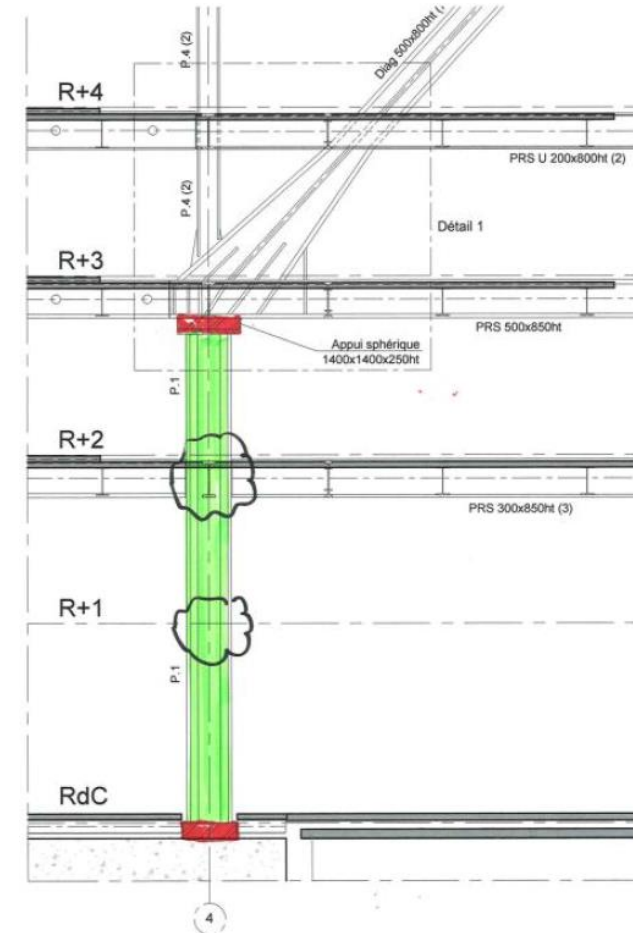
- $$\mu = \frac{1,6}{15 + \sigma_{PTFE}}$$

Optimisation études EXE

- Changement schéma statique



- Meilleure maîtrise du comportement – Calculs linéaires

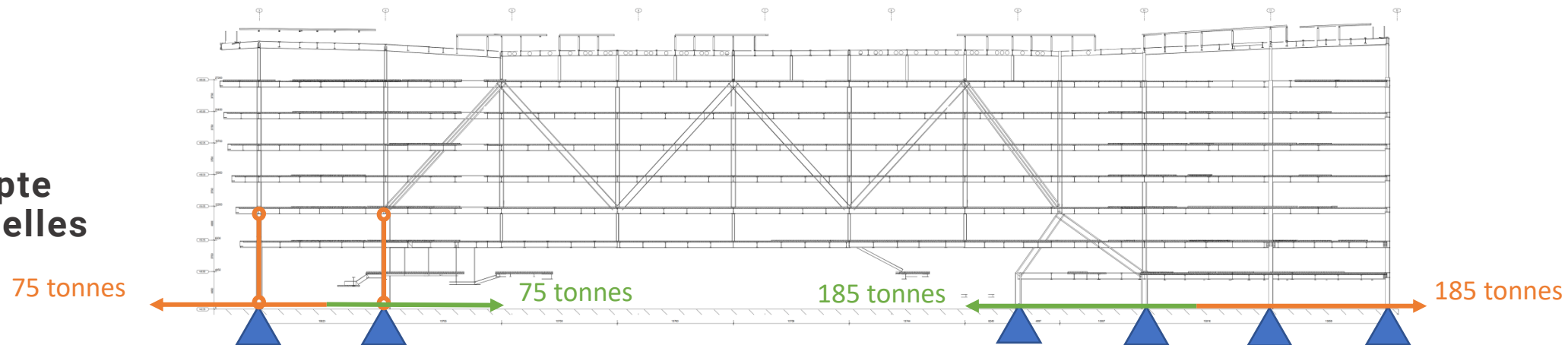
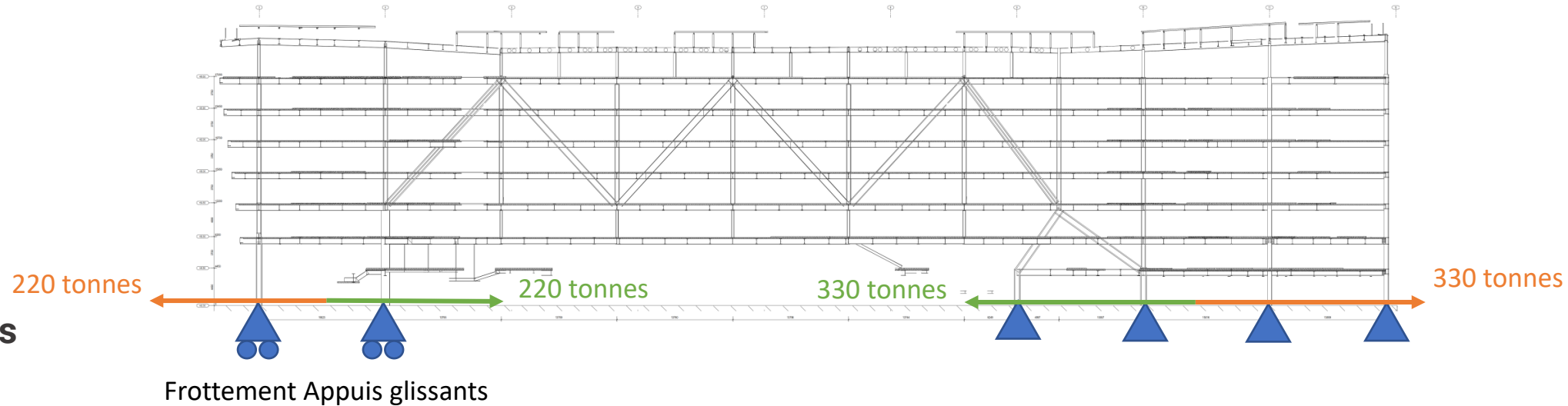


Comparaison DDC PRO Vs EXE

- Toutes charges

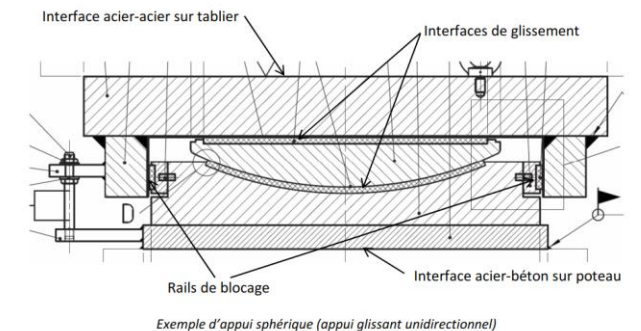
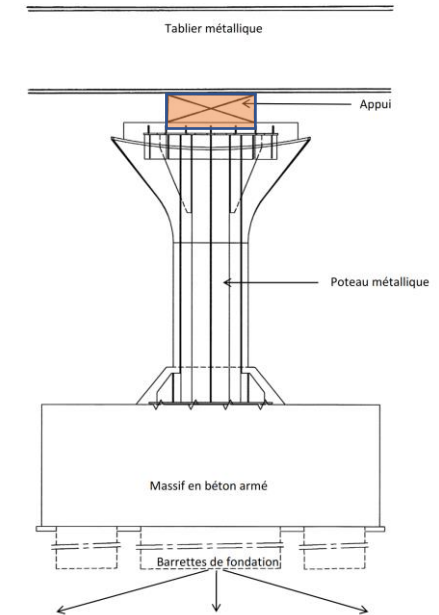
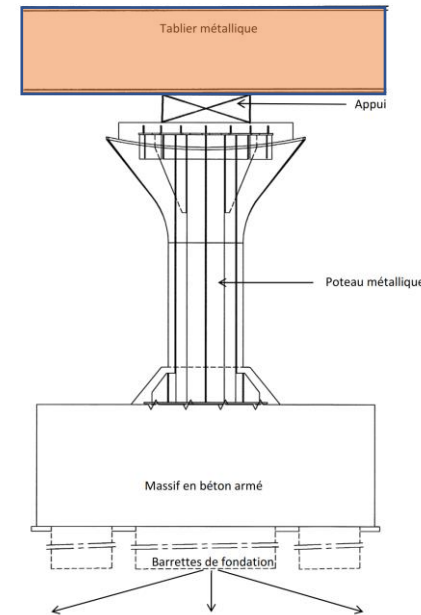
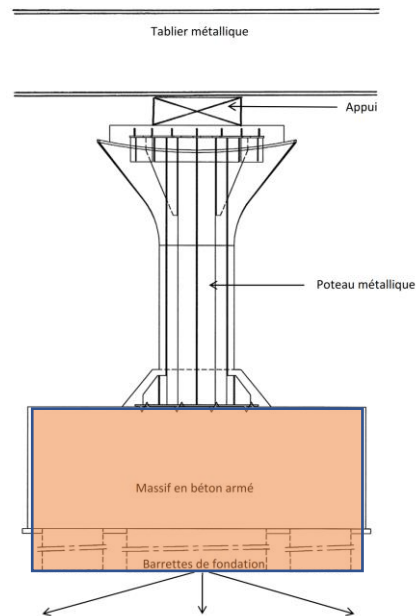
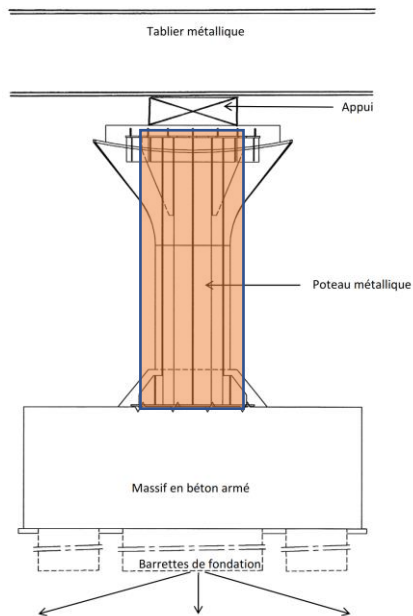
Permanent
Exploitation
Vent

Prise en compte
Inclinaison bielles



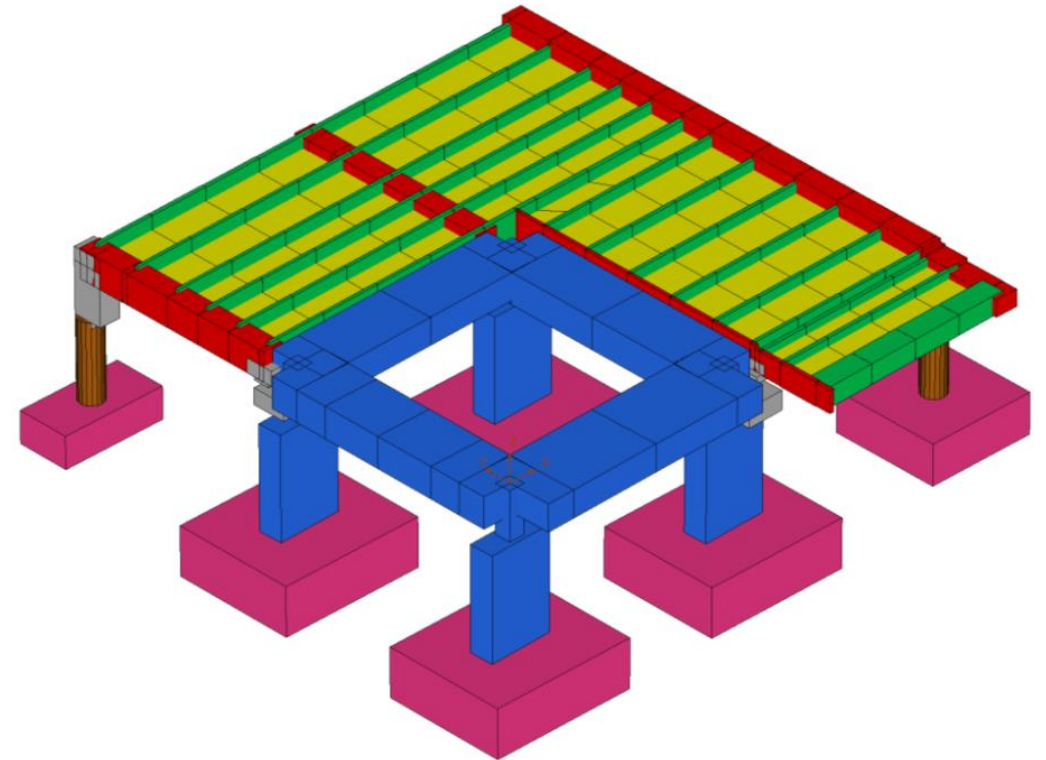
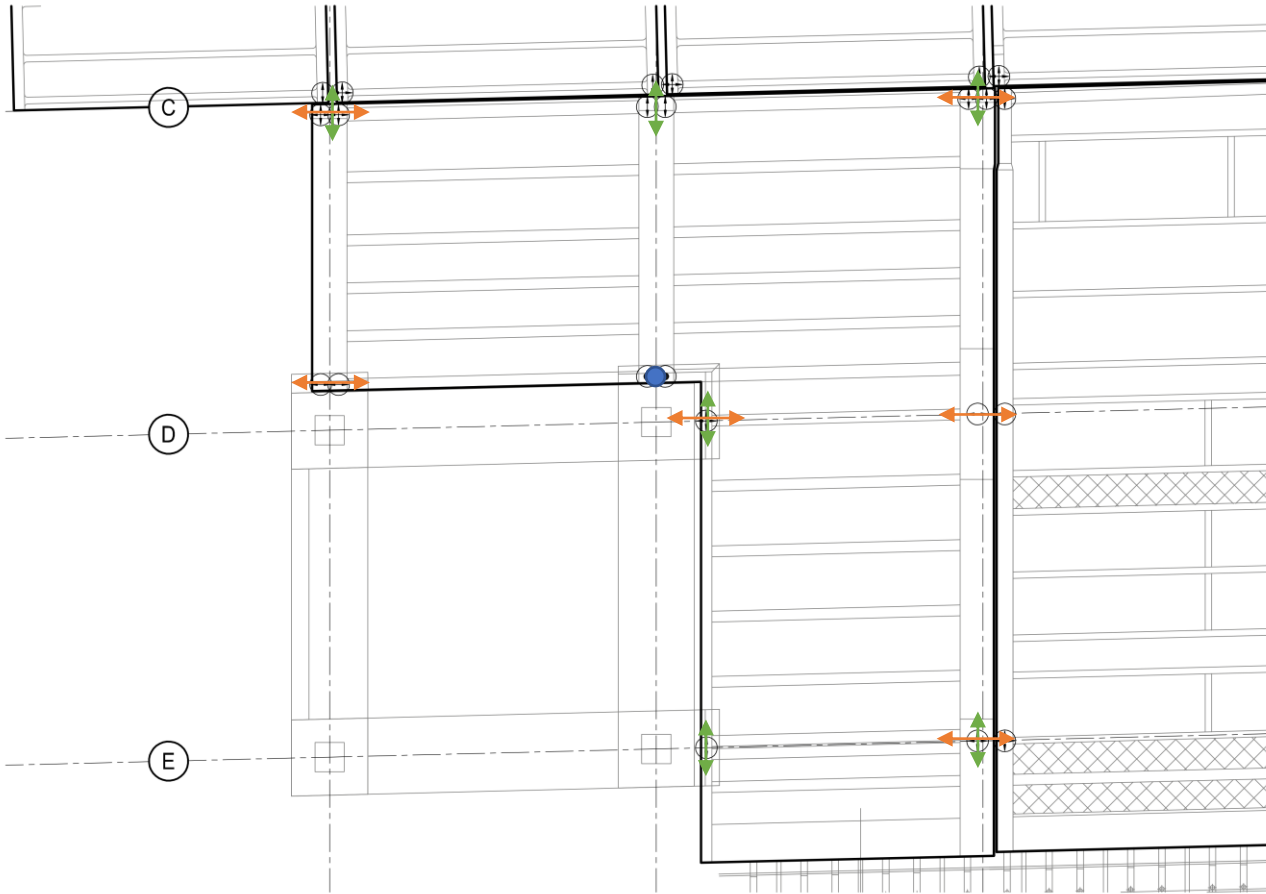
Vérification des tabliers existants

- Poutres tablier métallique
- Appareils appui
- Colonnes
- Fondations



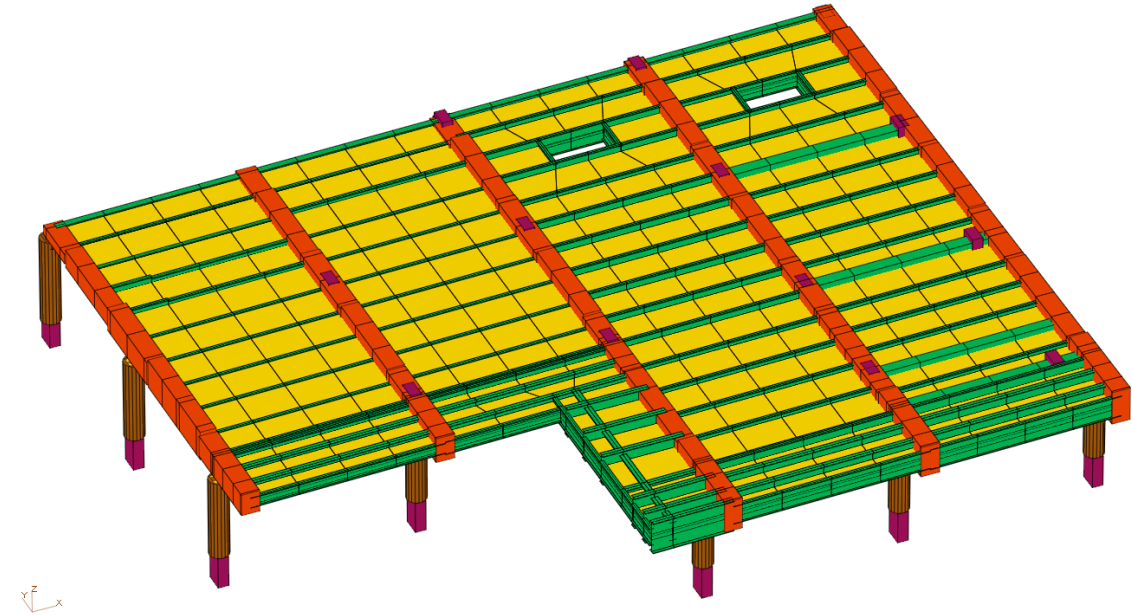
Tablier 1

- Appareils d'appui sphériques fixes / glissants mono-directionnel et bi-directionnel



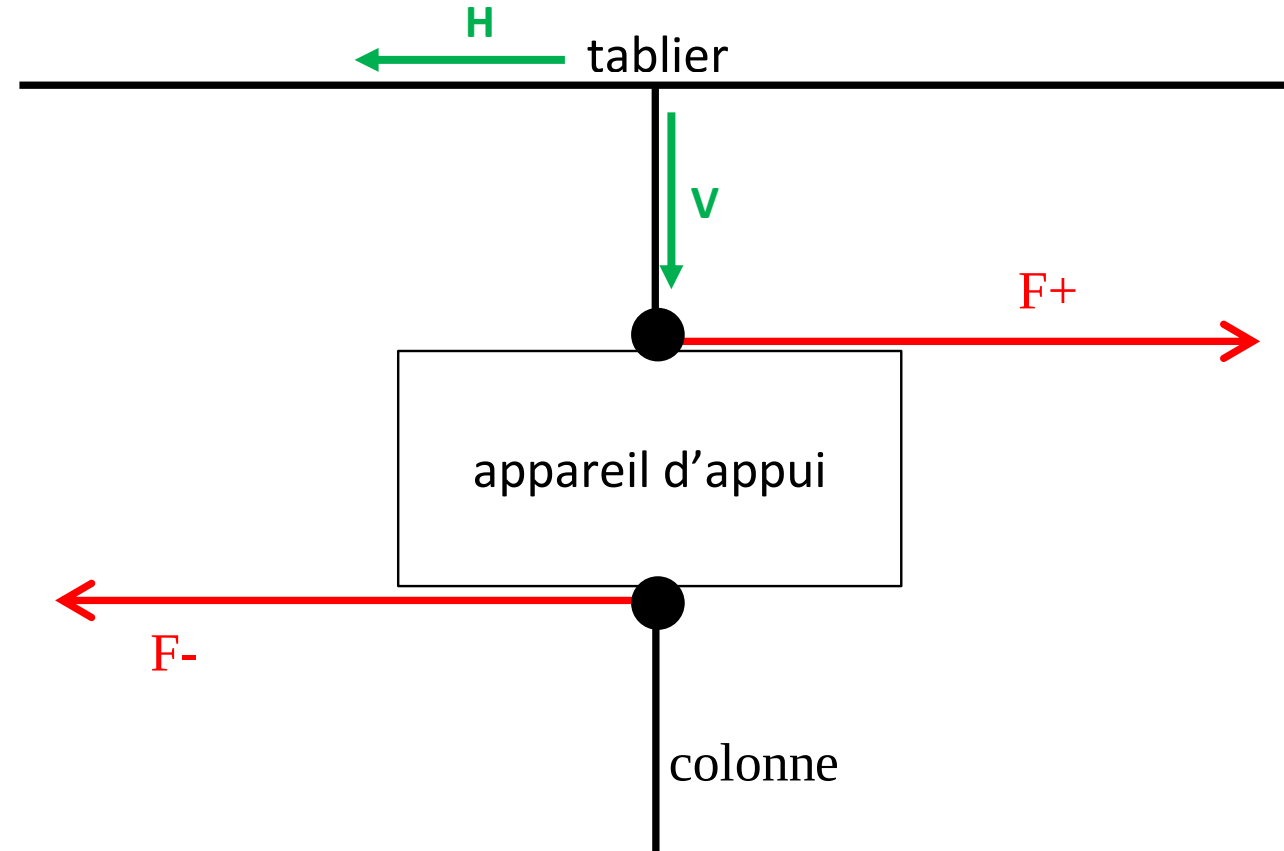
Tablier 3

- Appareils d'appui sphériques fixes / glissants mono-directionnel et bi-directionnel



Frottement des appareils d'appui

- H et V – Réactions du bâtiment sur le tablier
- $F = \mu.V$ – Frottement max de l'appui
- Si $H < F \rightarrow$ pas de glissement
- Si $H > F \rightarrow$ glissement
- La colonne est chargée par max F



Effet du phasage de chargement

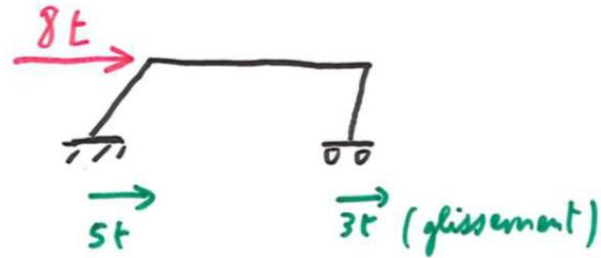
- Appui glissant avec frottement max 3 tonnes

Avec Phasage

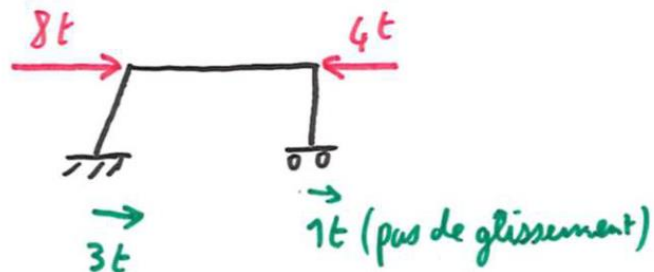
Etat initial :



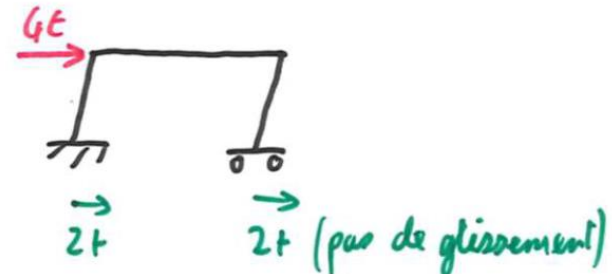
1^{er} chargement :



2^e chargement :



Sans Phasage



Etudes PRO

- **Tabliers posés sur des éléments très raides => Glissements possibles à chaque variation, même minime, de température**
- **Analyse non linéaire montre que le palier de glissement est systématiquement atteint pour tous les appuis**
- **Renforts au Tablier 1 pour 4 appuis**

Etudes PRO

■ Vérifications Tablier 1

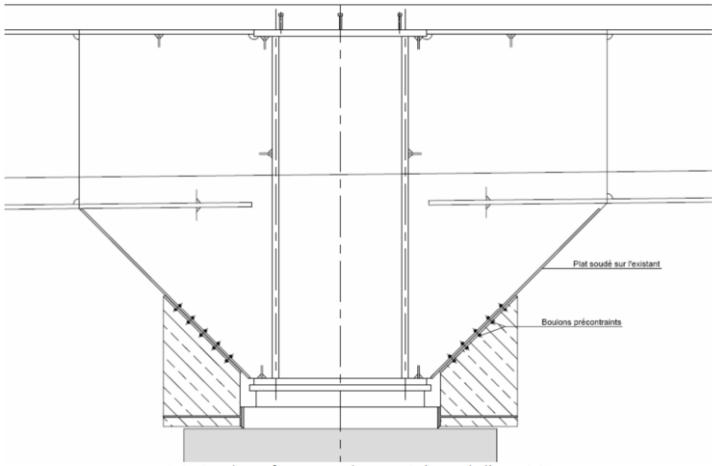
Portique BA	
Poutres	OK
Poteaux	OK
Semelles	OK
Barrettes	OK

Appui D4 côté file C	
Appuis à pot	A reprendre
Interface acier-béton	A reprendre
Bossage	OK
Corbeau	OK

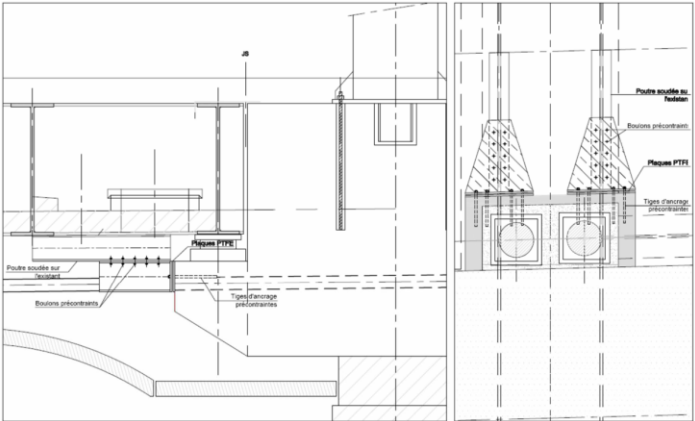
Appui C4	
Appuis à pot	A reprendre
Interface acier-béton	OK
Bossage	OK
Poteau métallique	OK
Embase du poteau	OK
Goussets en pieds	OK
Semelle	OK
Barrettes	OK

Appui D3 côté file C	
Appuis à pot	OK
Interface acier-béton	A reprendre
Bossage	OK
Corbeau	OK

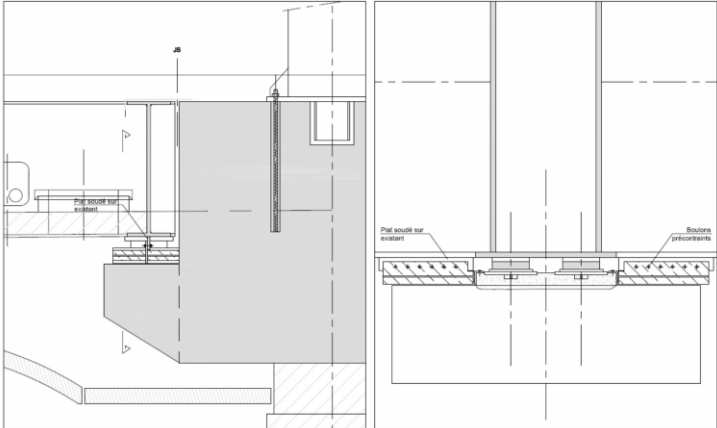
Appui E4 côté file 5	
Appuis à pot	A reprendre
Interface acier-béton	OK
Bossage	OK
Corbeau	OK



Principe de renforcement des appuis à pot de l'appui C4



Principe de renforcement des appuis à pot de l'appui D3 côté file C



Principe de renforcement des appuis à pot de l'appui D4 côté file C

Etudes PRO

- Vérifications Tablier 3

Appui D8	
Appuis sphérique	OK
Bossage	OK
Poteau métallique	OK
Embase du poteau	OK
Goussets en pieds	OK
Semelle	OK
Barrettes	OK

Appui D12	
Appuis sphérique	OK
Bossage	OK
Poteau métallique	OK
Embase du poteau	OK
Goussets en pieds	OK
Semelle	OK
Barrettes	OK

Appui E8	
Appuis sphérique	OK
Bossage	OK
Poteau métallique	OK
Embase du poteau	OK
Goussets en pieds	OK
Semelle	OK
Barrettes	OK

Appui F10	
Appuis sphérique	OK
Bossage	OK
Poteau métallique	OK
Embase du poteau	OK
Goussets en pieds	OK
Semelle	OK
Barrettes	OK

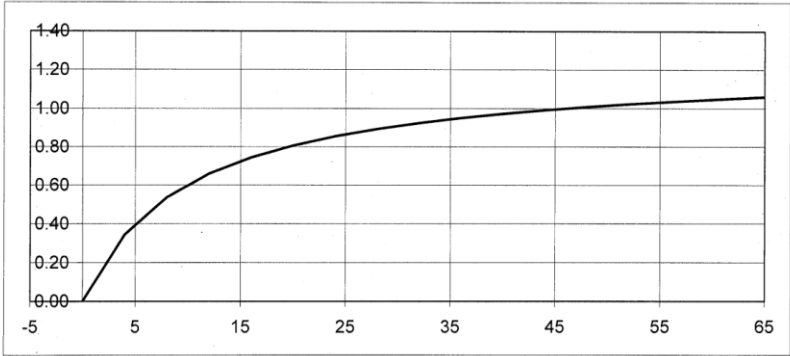
Appui C10	
Appuis sphérique	OK
Interface acier-béton	OK
Bossage	OK
Poteau métallique	OK
Embase du poteau	OK
Goussets en pieds	OK
Semelle	OK
Barrettes	OK

Optimisation études EXE

- Définition de configurations enveloppe des frottements d'appui
- Prise en compte de l'effet d'ensemble

EFFORT HORIZONTAL H TRANSMIS PAR UN APPAREIL D'APPUI A POT
DE SURFACE D'ELASTOMERE DONNEE S
EN FONCTION DE L'EFFORT VERTICAL N

En abscisse N/S
En ordonnée H/S



- Appui à pot :

- $\mu = \frac{1,2}{10 + \sigma_{PTFE}}$

- Appui sphérique :

- $\mu = \frac{1,6}{15 + \sigma_{PTFE}}$

avec :

- $\mu_{\max}$ coefficient de frottement maximal pour un appareil d'appui glissant considéré individuellement (cf. paragraphe précédent) ;
- μ_a coefficient de frottement à retenir si le frottement est défavorable vis-à-vis de l'effet étudié ;
- μ_r coefficient de frottement à retenir si le frottement est favorable vis-à-vis de l'effet étudié ;
- α coefficient de dégressivité dépendant de "n", nombre d'appareils d'appui glissants intervenant dans l'équilibre longitudinal de la structure selon le tableau ci-après :

n	α
≤ 4	1
$4 < n < 10$	$(16-n)/12$
≥ 10	0,5

Tableau 4.4

	μ_a [%]	μ_r [%]
Tablier 1	5	0
Tablier 3	2,625	0,875

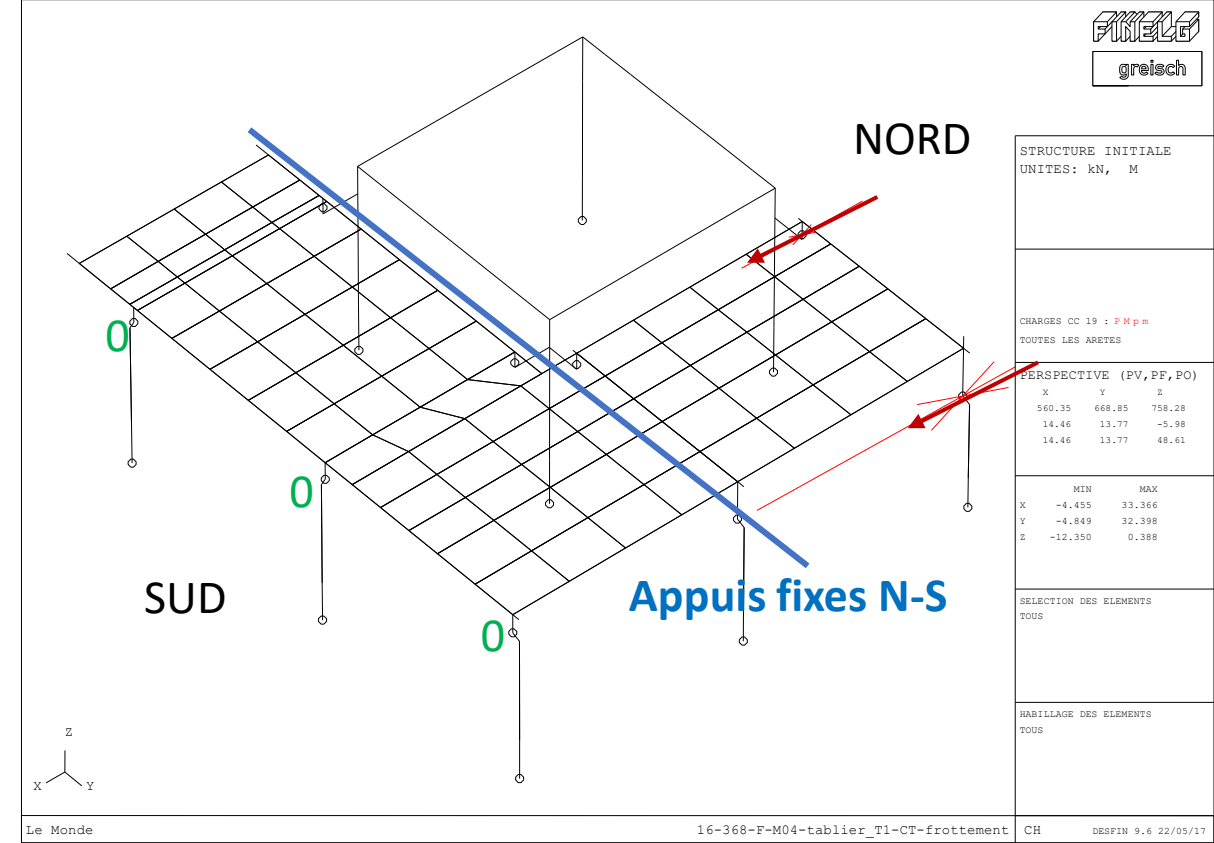
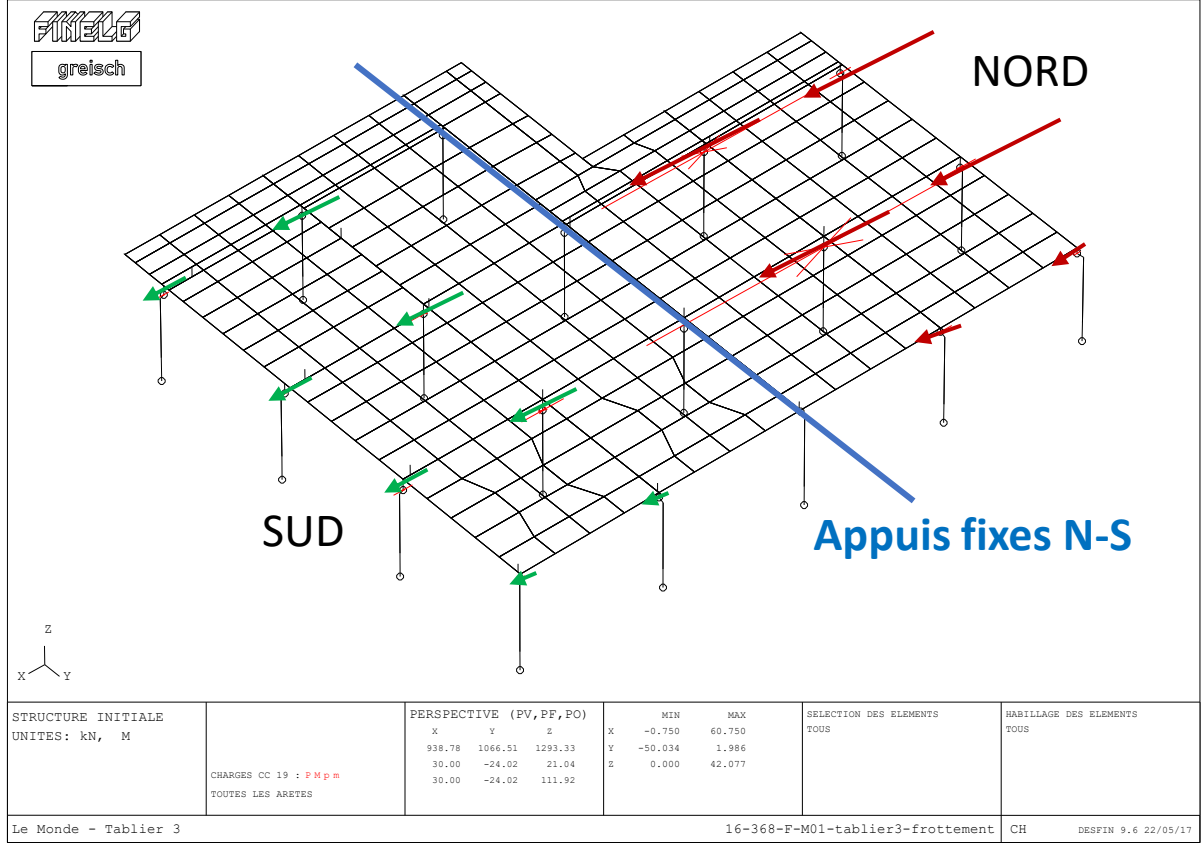
- Réaliser des calculs linéaires / Eviter le phasage de chargement

Configurations enveloppe

- Configuration 1 : μ_a au nord et μ_r au sud des appuis fixes
- Configuration 2 : μ_r au nord et μ_a au sud des appuis fixes
- Configuration 3 : μ_a à l'ouest et μ_r à l'est des appuis fixes
- Configuration 4 : μ_r à l'est et μ_a à l'ouest des appuis fixes
- Configuration 5 : $\mu = 0$ sur tous les appuis

Configuration enveloppe 1

- Configuration 1 : μ_a au nord et μ_r au sud des appuis fixes



Impact DDC nouveau bâtiment sur le tablier 1

Tablier 1				Nouvelle DDC / DDC DOE				
Zone appui	nb appareil	Diamètre PTFE [mm]	Type	ELS			ELU	
				Rz	Rx	Ry	Rz	Rzmin requis ?
C3	2	410	Libre	0.52	0.90	0.90	0.48	Vérifié
D3 coté file C	2	340	Fixe Y	0.43	2.81	2.74	0.40	Vérifié
C4	2	565	Fixe X	0.24	1.26	0.70	0.22	Pas vérifié
D4 coté file C	2	500	Fixe	0.49	4.13	3.36	0.46	Vérifié
D4 coté file 5	1	500	Libre	0.39	0.98	0.98	0.36	Vérifié
E4 coté file 5	1	515	Fixe X	0.46	2.00	1.22	0.43	Pas vérifié
C5	2	445	Libre	0.12	0.41	0.33	0.11	Vérifié
D5	1	770	Fixe Y	0.26	0.77	0.90	0.24	Vérifié
E5	1	487	Libre	0.43	0.96	0.46	0.40	Pas vérifié

Impact DDC nouveau bâtiment sur le tablier 1

Tablier 1				Nouvelle DDC / DDC DOE				
Zone appui	nb appareil	Diamètre PTFE [mm]	Type	ELS			ELU	
				Rz	Rx	Ry	Rz	Rzmin requis ?
C3	2	410	Libre	0.52	0.90	0.90	0.48	Vérifié
D3 coté file C	2	340	Fixe Y	0.43	2.81	2.74	0.40	Vérifié
C4	2	565	Fixe X	0.24	1.26	0.70	0.22	Pas vérifié
D4 coté file C	2	500	Fixe	0.49	4.13	3.36	0.46	Vérifié
D4 coté file 5	1	500	Libre	0.39	0.98	0.98	0.36	Vérifié
E4 coté file 5	1	515	Fixe X	0.46	2.00	1.22	0.43	Pas vérifié
C5	2	445	Libre	0.12	0.41	0.33	0.11	Vérifié
D5	1	770	Fixe Y	0.26	0.77	0.90	0.24	Vérifié
E5	1	487	Libre	0.43	0.96	0.46	0.40	Pas vérifié

- Après reprise calcul organique -> Remplacement appui D4

Impact DDC nouveau bâtiment sur le tablier 3

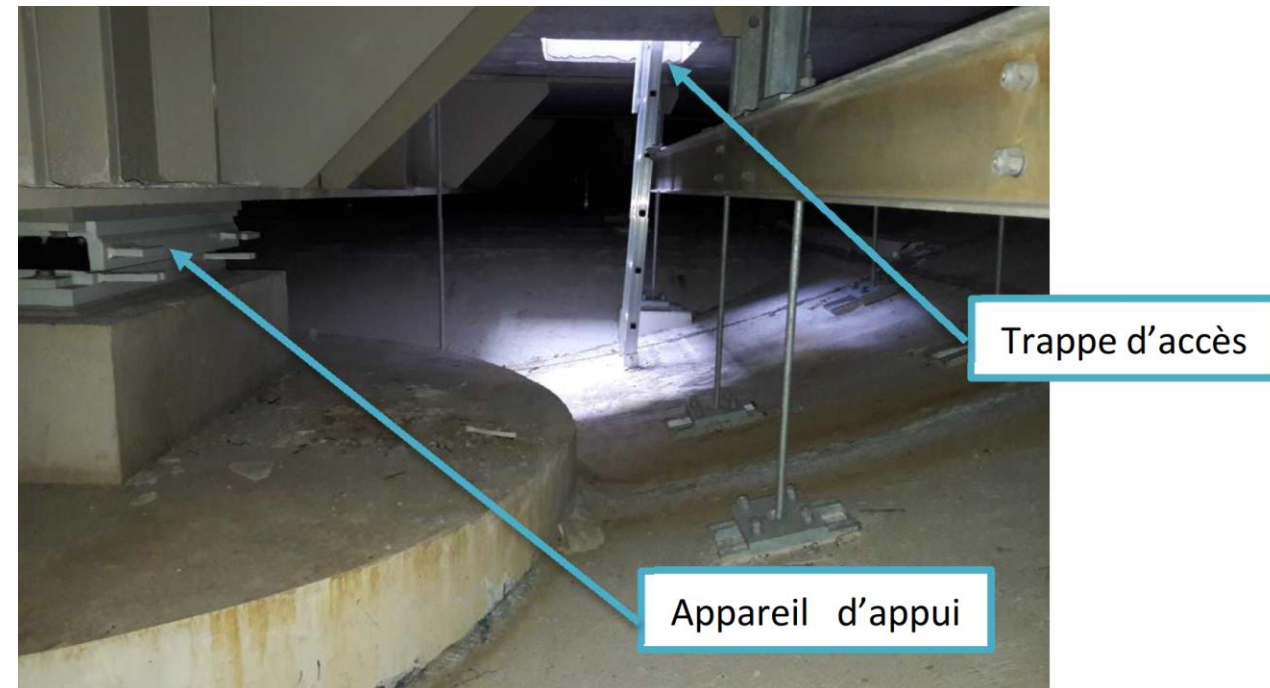
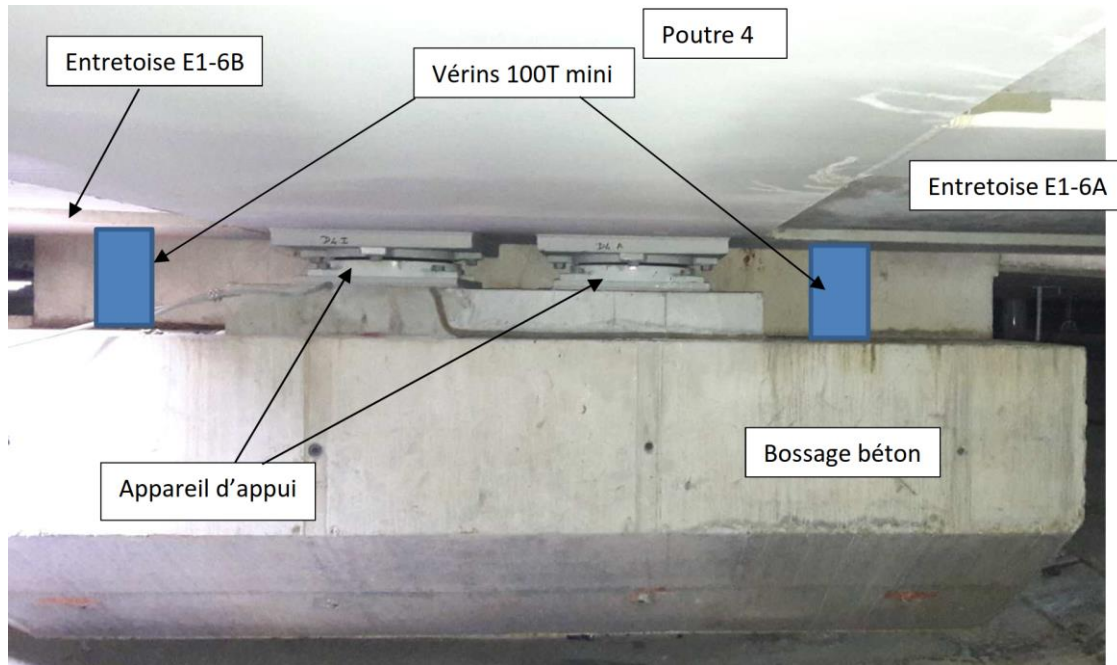
Tablier 3				Nouvelle DDC / DDC DOE				
Zone appui	nb appareil	Diamètre PTFE [mm]	Type	ELS			ELU	
				Rz	Rx	Ry	Rz	Rzmin requis ?
C8	2	350	Libre	0.07	0.21	0.18	0.07	Vérifié
C9	2	360	Libre	0.18	0.33	0.33	0.17	Pas vérifié
C10	2	358	Fixe X	0.70	0.56	0.73	0.67	Pas vérifié
C11	2	360	Libre	0.88	0.87	0.87	0.83	Vérifié
C12	2	350	Libre	0.61	0.67	0.58	0.57	Vérifié
D8	1	760	Fixe Y	0.12	0.36	0.72	0.11	Pas vérifié
D9	1	980	Fixe Y	0.82	0.87	0.56	0.77	Vérifié
D10	1		Fixe	0.78	0.97	0.44	0.73	Vérifié
D11	1	980	Fixe Y	0.54	0.63	0.47	0.50	Vérifié
D12	1	760	Fixe Y	0.46	0.63	0.46	0.43	Pas vérifié
E8	1	690	Libre	0.09	0.24	0.21	0.09	Pas vérifié
E9	1	765	Libre	0.65	0.60	0.60	0.61	Vérifié
E10	1	790	Fixe X	0.72	1.09	0.81	0.67	Vérifié
E11	1	938	Libre	0.53	0.57	0.57	0.50	Vérifié
E12	1	690	Libre	0.43	0.52	0.41	0.41	Vérifié
F10	1	790	Fixe X	0.20	1.48	0.49	0.19	Pas vérifié
F11	1	855	Libre	0.43	0.52	0.52	0.40	Vérifié
F12	1	690	Libre	0.29	0.47	0.28	0.27	Vérifié

Impact DDC nouveau bâtiment sur le tablier 3

Tablier 3				Nouvelle DDC / DDC DOE				
Zone appui	nb appareil	Diamètre PTFE [mm]	Type	ELS			ELU	
				Rz	Rx	Ry	Rz	Rzmin requis ?
C8	2	350	Libre	0.07	0.21	0.18	0.07	Vérifié
C9	2	360	Libre	0.18	0.33	0.33	0.17	Pas vérifié
C10	2	358	Fixe X	0.70	0.56	0.73	0.67	Pas vérifié
C11	2	360	Libre	0.88	0.87	0.87	0.83	Vérifié
C12	2	350	Libre	0.61	0.67	0.58	0.57	Vérifié
D8	1	760	Fixe Y	0.12	0.36	0.72	0.11	Pas vérifié
D9	1	980	Fixe Y	0.82	0.87	0.56	0.77	Vérifié
D10	1		Fixe	0.78	0.97	0.44	0.73	Vérifié
D11	1	980	Fixe Y	0.54	0.63	0.47	0.50	Vérifié
D12	1	760	Fixe Y	0.46	0.63	0.46	0.43	Pas vérifié
E8	1	690	Libre	0.09	0.24	0.21	0.09	Pas vérifié
E9	1	765	Libre	0.65	0.60	0.60	0.61	Vérifié
E10	1	790	Fixe X	0.72	1.09	0.81	0.67	Vérifié
E11	1	938	Libre	0.53	0.57	0.57	0.50	Vérifié
F12	1	690	Libre	0.43	0.52	0.41	0.41	Vérifié
F10	1	790	Fixe X	0.20	1.48	0.49	0.19	Pas vérifié
F11	1	855	Libre	0.43	0.52	0.52	0.40	Vérifié
F12	1	690	Libre	0.29	0.47	0.28	0.27	Vérifié

- Après reprise calcul organique -> Remplacement appui F10

Remplacement appareils d'appui



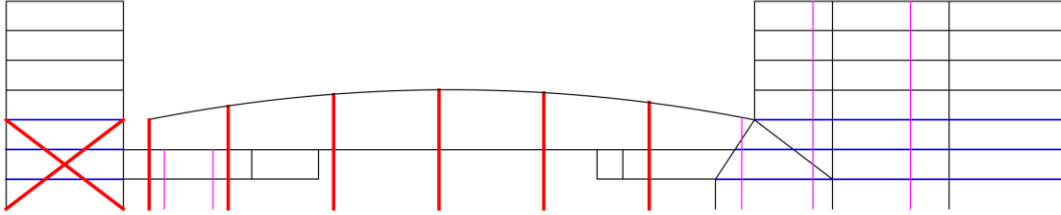
Le Monde

- Présentation
- Missions Greisch
- Tabliers existants
- **Montage – Contreflèches**
- Comportement global
- Etudes des noeuds
- Déverinage



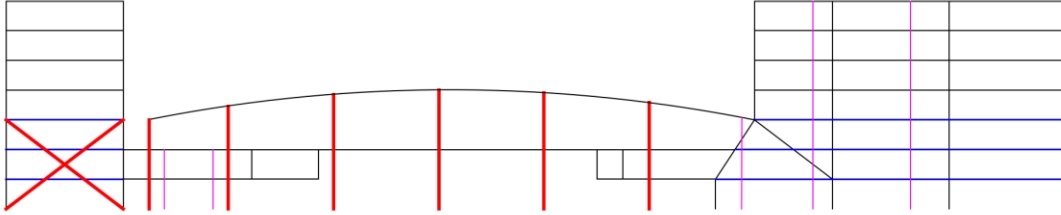
PROCEDURE DE MONTAGE

1) Construction des piles

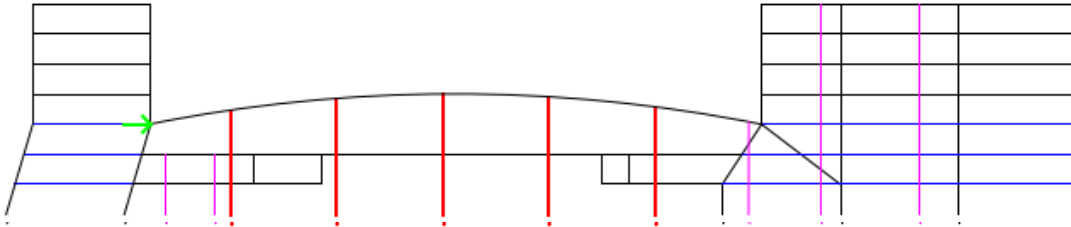


PROCEDURE DE MONTAGE

1) Construction des piles

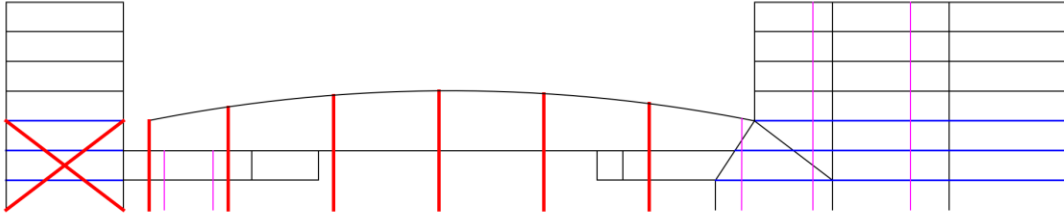


2) Réglage longitudinal R+3

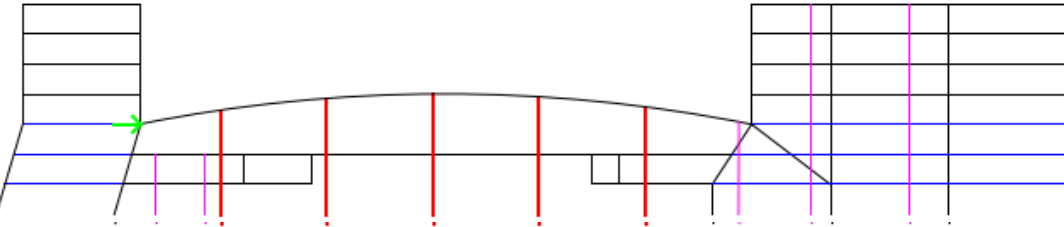


PROCEDURE DE MONTAGE

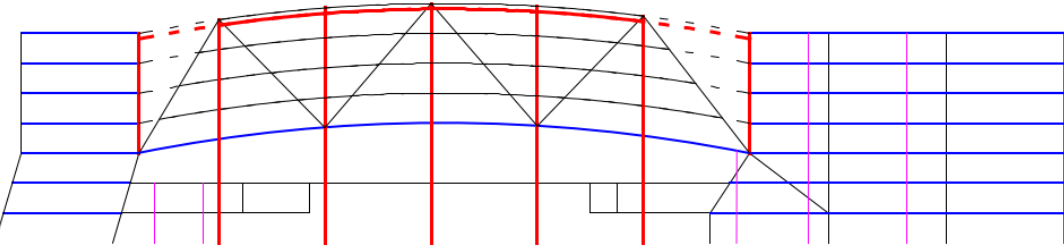
1) Construction des piles



2) Réglage longitudinal R+3

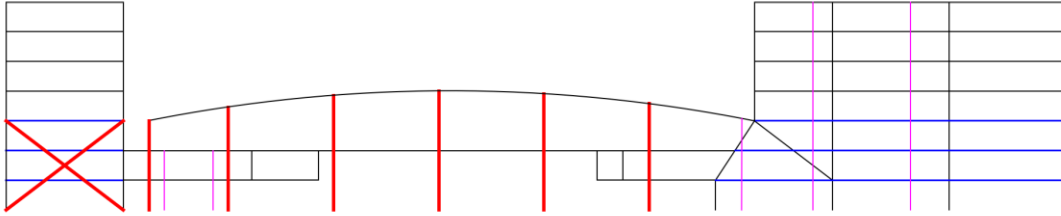


3) Construction structure de franchissement

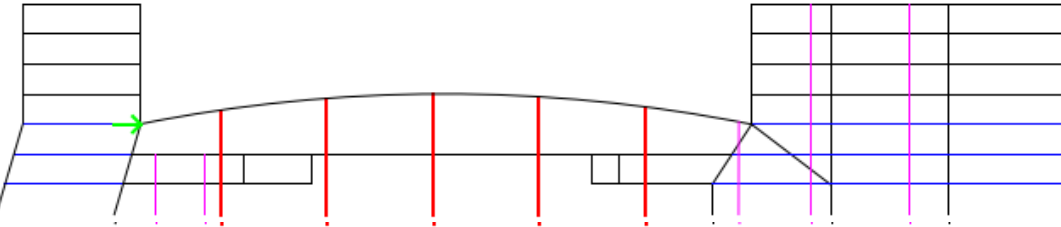


PROCEDURE DE MONTAGE

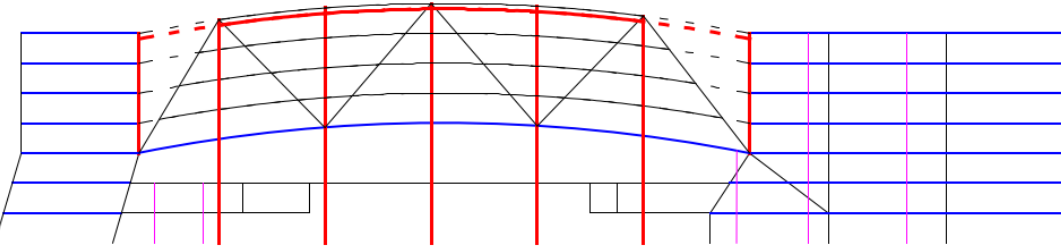
1) Construction des piles



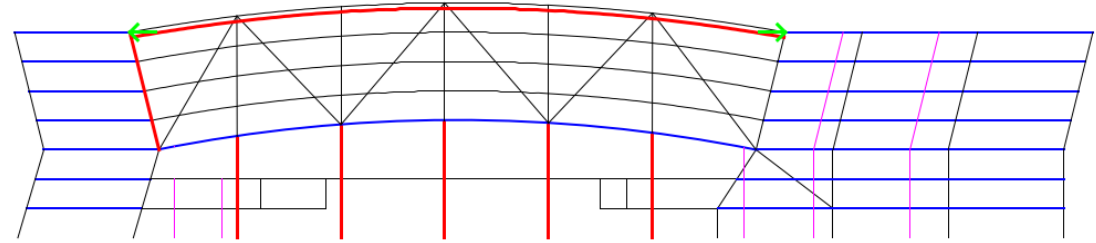
2) Réglage longitudinal R+3



3) Construction structure de franchissement

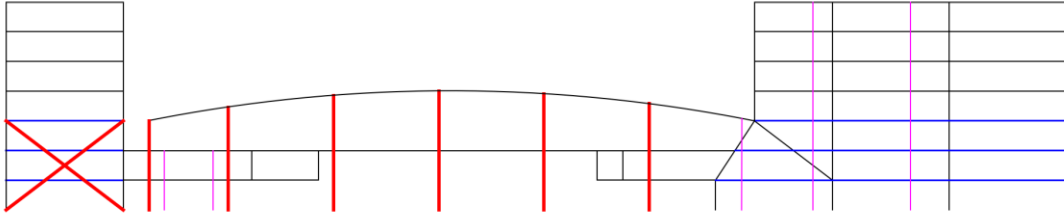


4) Réglage longitudinal R+7

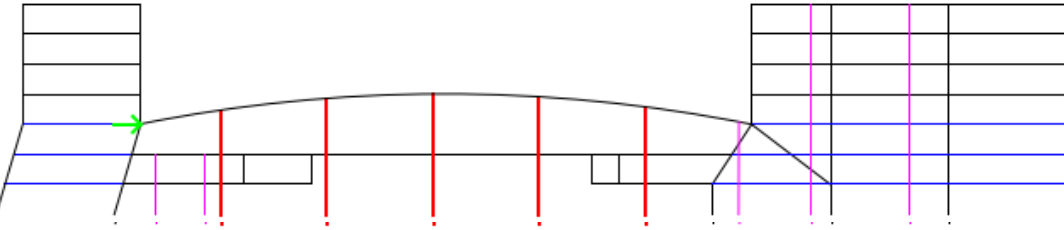


PROCEDURE DE MONTAGE

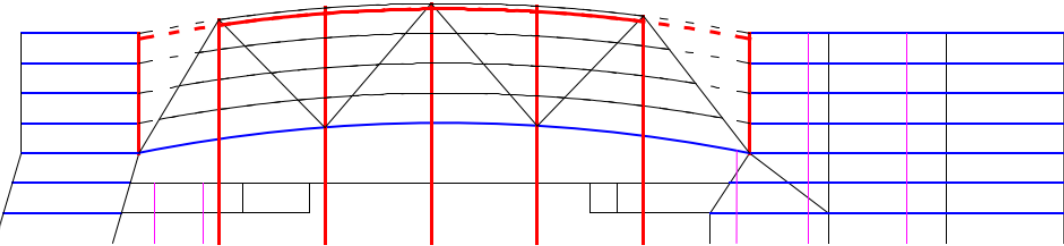
1) Construction des piles



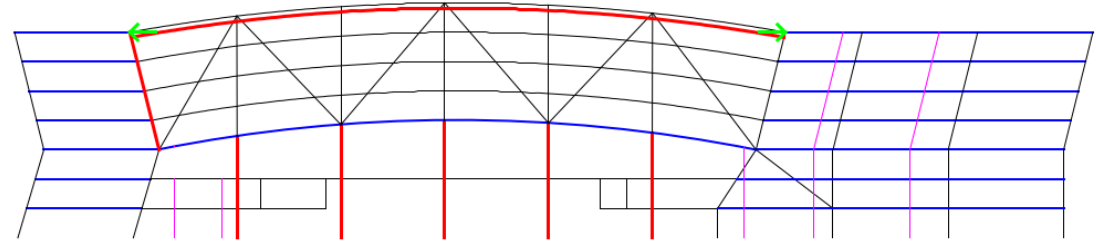
2) Réglage longitudinal R+3



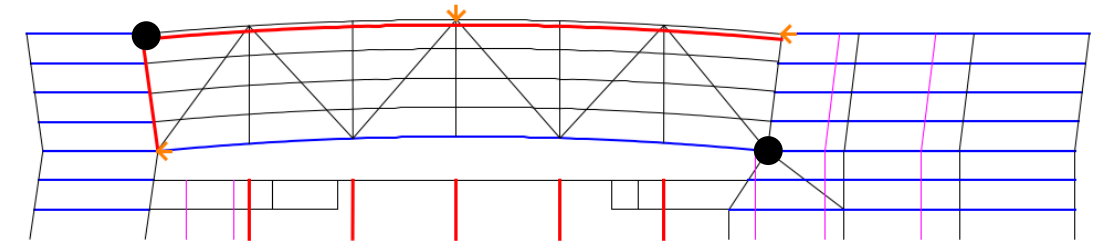
3) Construction structure de franchissement



4) Réglage longitudinal R+7

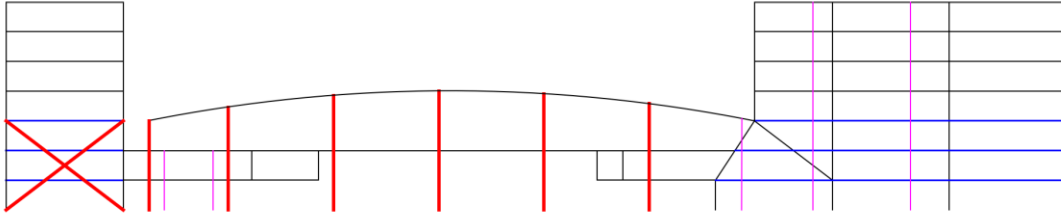


5) Déverinage

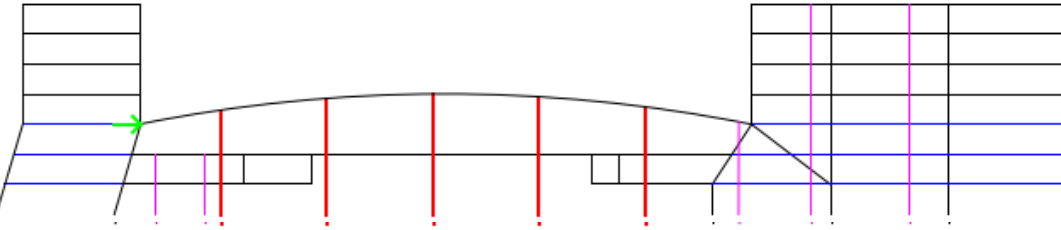


PROCEDURE DE MONTAGE

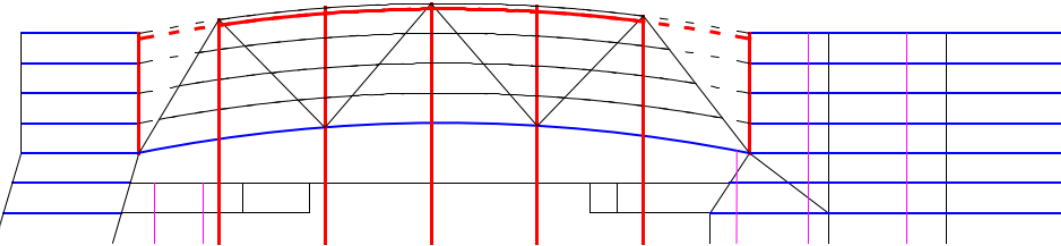
1) Construction des piles



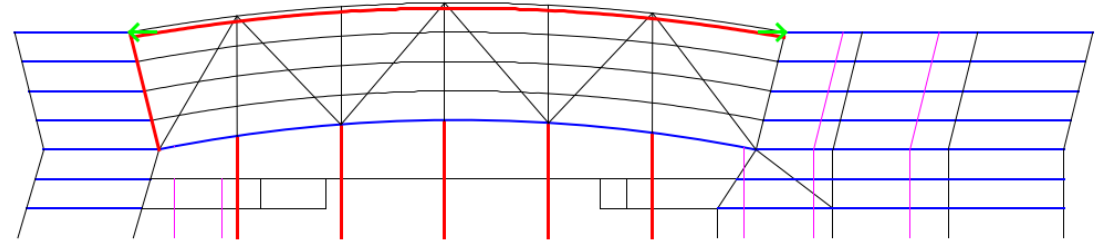
2) Réglage longitudinal R+3



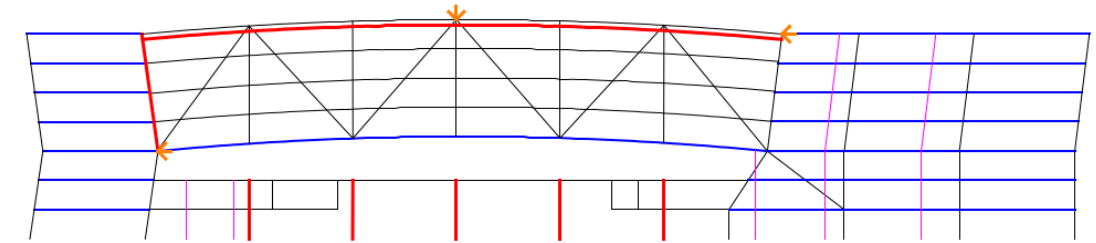
3) Construction structure de franchissement



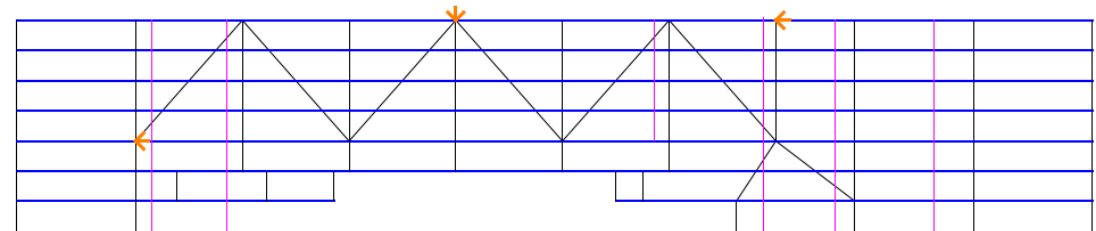
4) Réglage longitudinal R+7



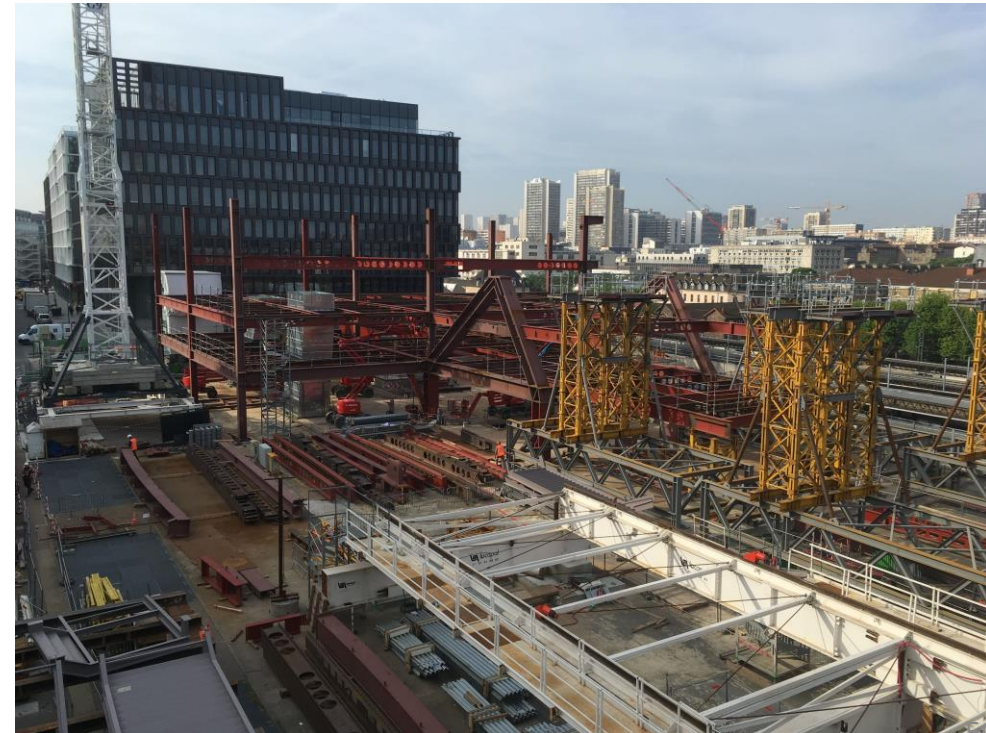
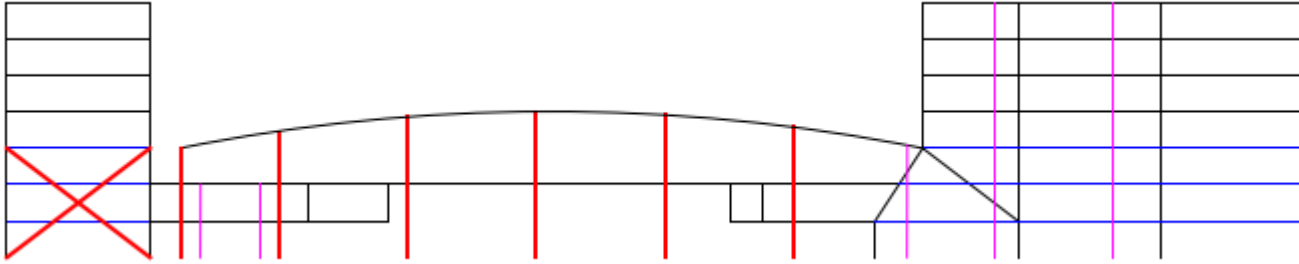
5) Déverinage



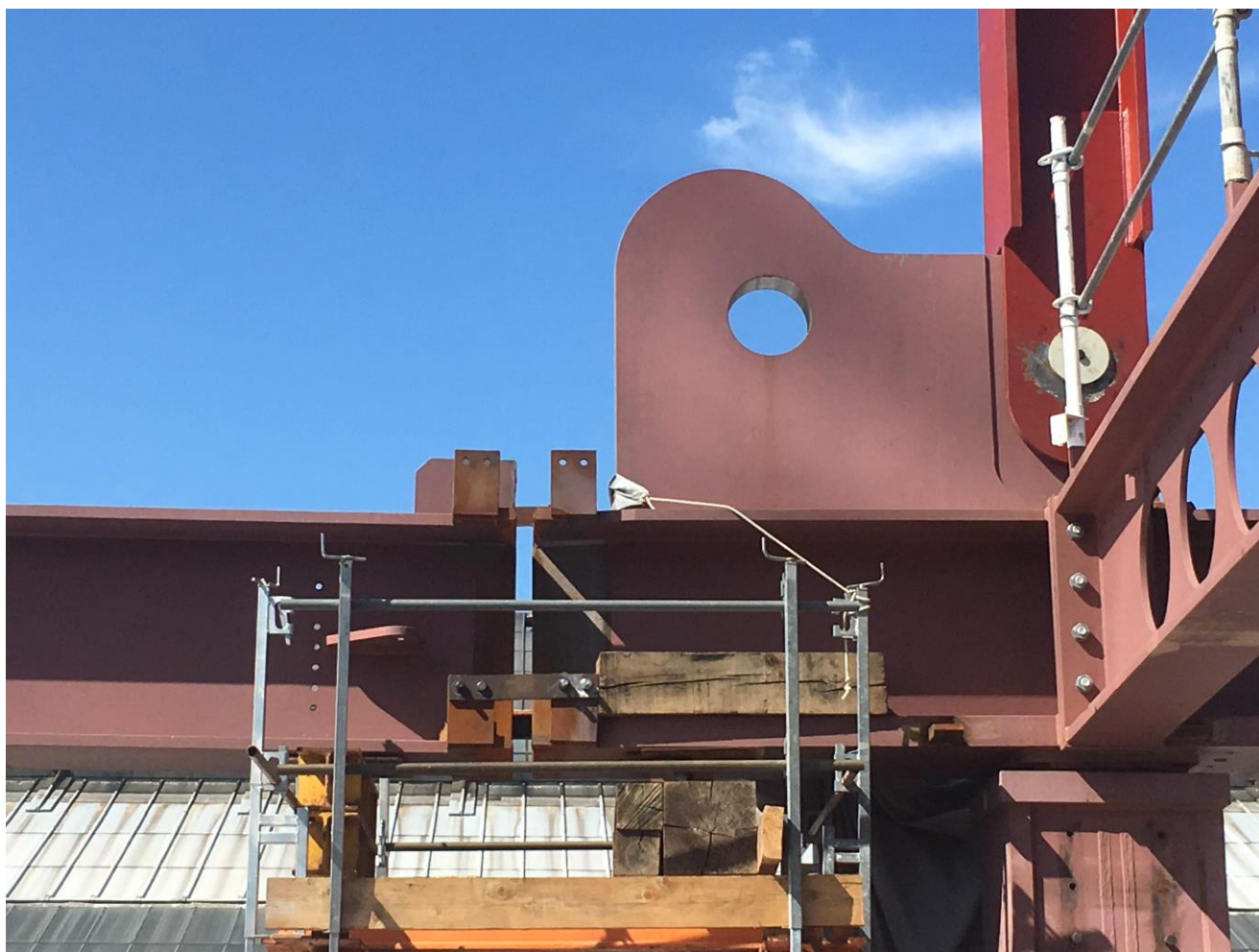
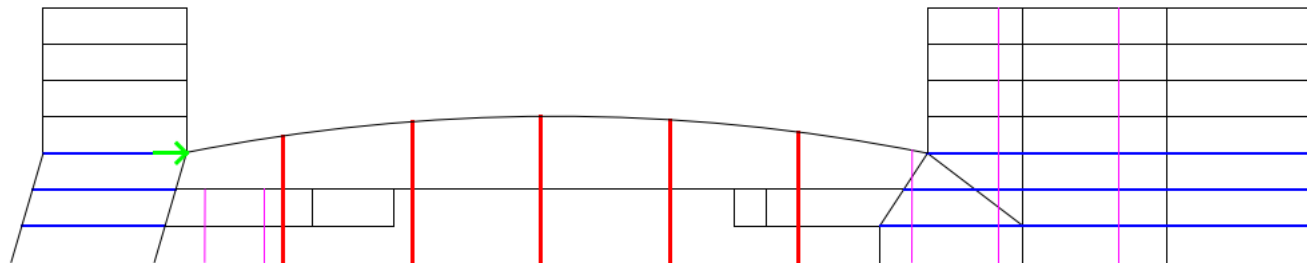
6) PAF – R+2 suspendu - Bétonnage



1) Construction des piles



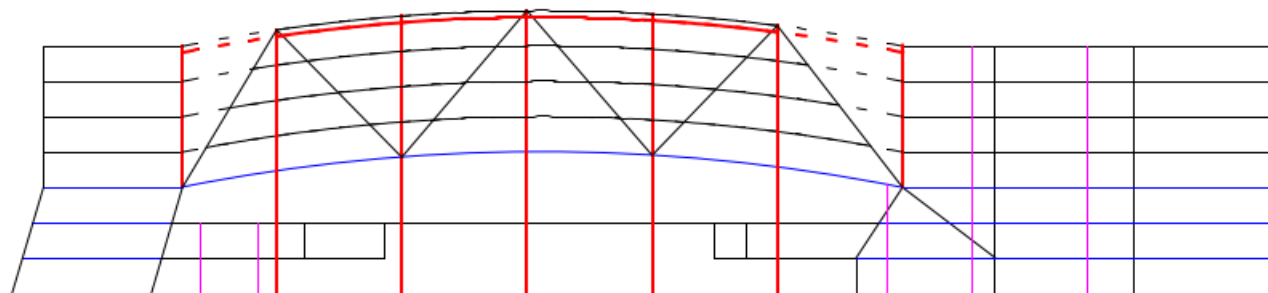
2) Réglage longitudinal R+3



Loc.	Réglage [mm]	
	Théorique (calcul)	Chantier (mesure)
D4+3	+40	+46
E4+3	+47	+67
Moy	+42	+56

Matrice de raideur								THEORIQUE		CHANTIER	
Localisation d'un réglage de 100kN selon X								Déplmt X [mm]	Réglage Fx [to]	Déplmt X [mm]	Réglage Fx [to]
Déplacmt X	LOC	E4+3	D4+3	E4+7	D4+7	E9.1+7	D9.1+7				
	E4+3	16	2	0	0	0	0	47	27	38	20
	D4+3	2	20	0	0	0	0	41	18	71	34
	E4+7	26	3	66	18	0	0	-109	-8	-9	0
	D4+7	3	23	18	25	0	0	-97	-33	-10	-4
	E9.1+7	0	0	0	0	-36	-33	38	-6	35	22
	D9.1+7	0	0	0	0	-34	-34	36	-5	42	-34
moyenne 9.1+7 :								37.12		38.50	51

3) Construction structure de franchissement

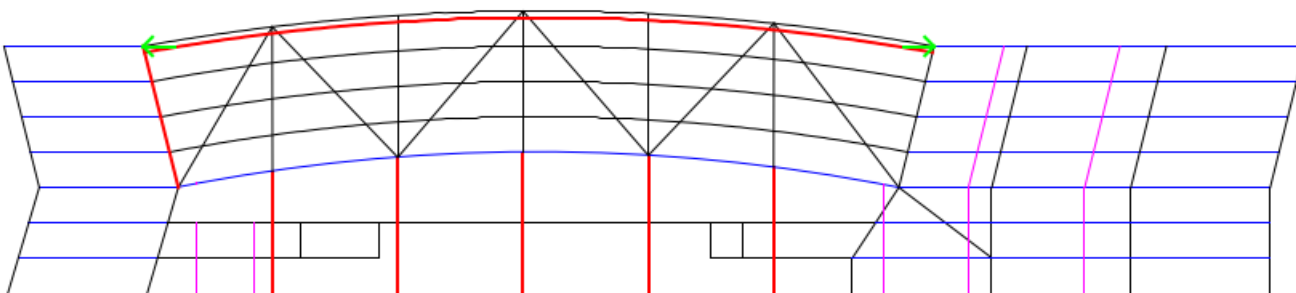


Contreflèche verticale 144mm = $1/550^e$

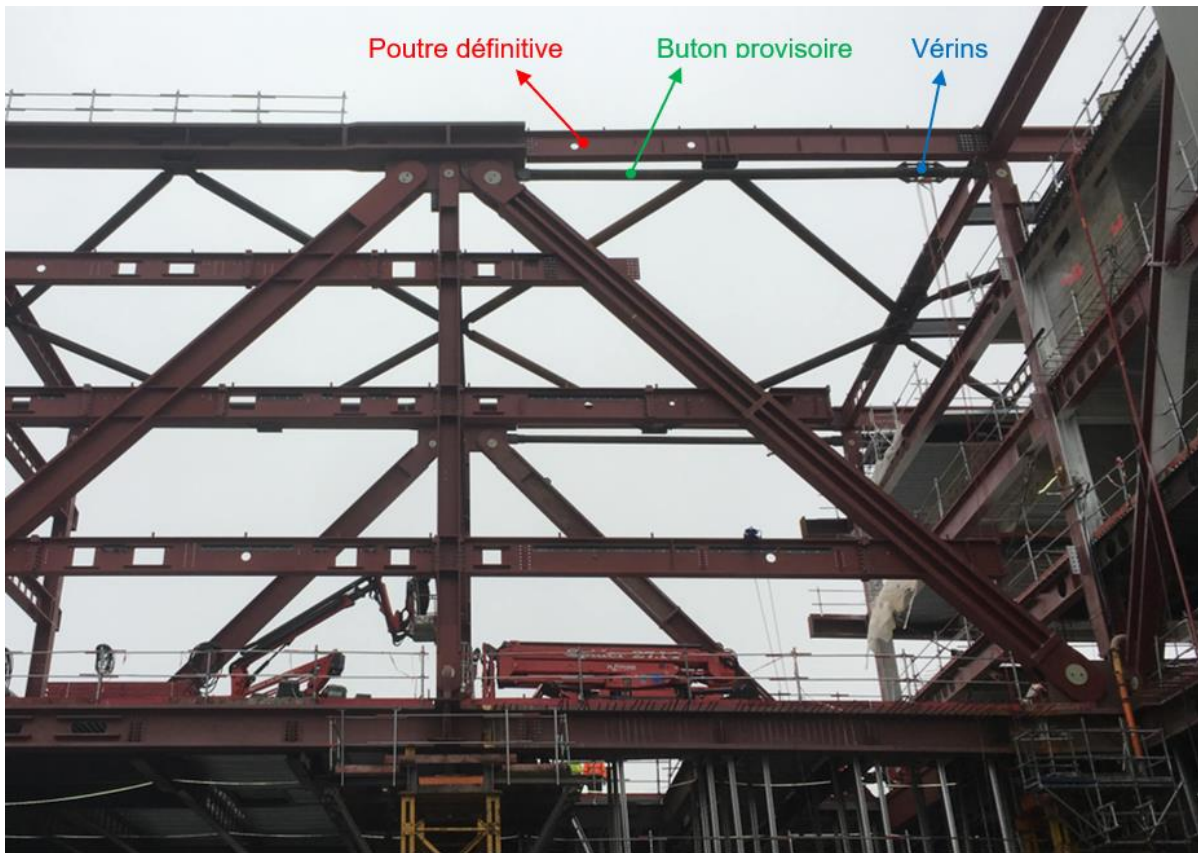
Contreflèche suivant		Z					
Valeurs en mm		Axe alphabétique					
		C	C'	D	E	E'	F
Axe numérique	3	2		6	0		
	4 pile nord		56	10	8		
	ouv. franch						
	4.1		111	82	76		
	5.1		130	117	119		
	6.1		146	144	140		
	7.1		131	111	114		
	8.1		96	72	68		
	1 ouv. franc		52	16	15		
	9.1 pile sud						
	10	5		7	6		
	11	5		5	3	5	41
	12	3		4	6		3



4) Réglage longitudinal R+7



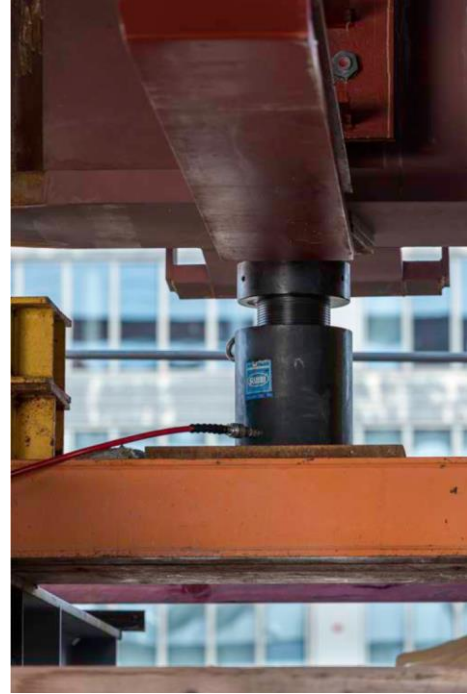
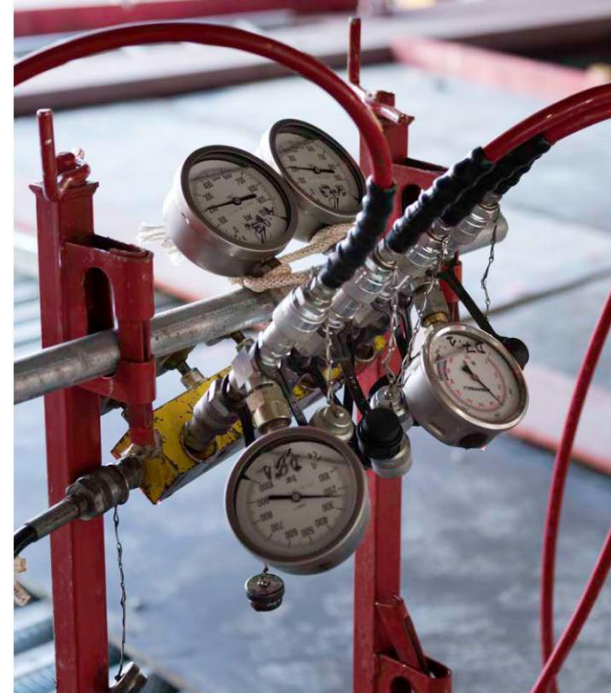
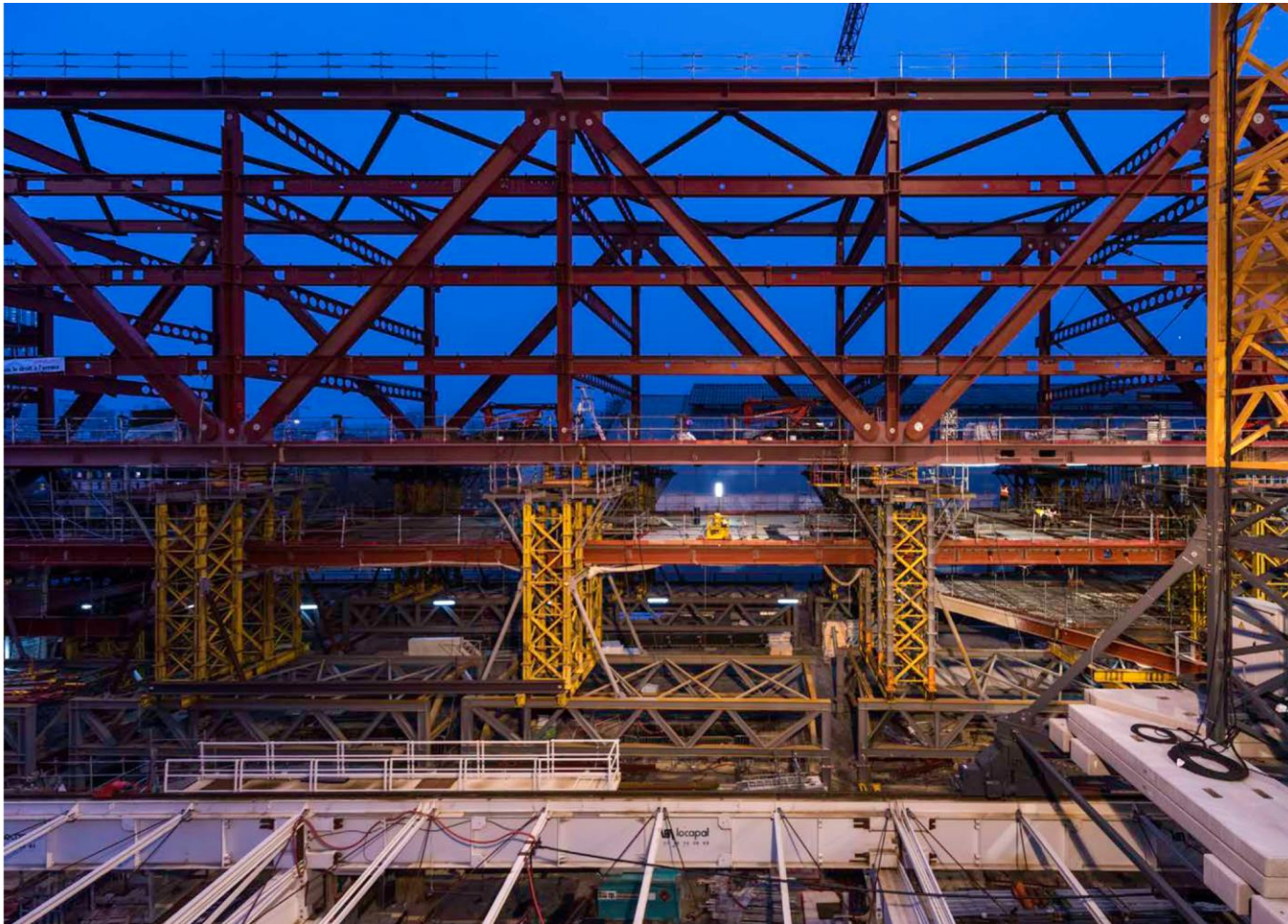
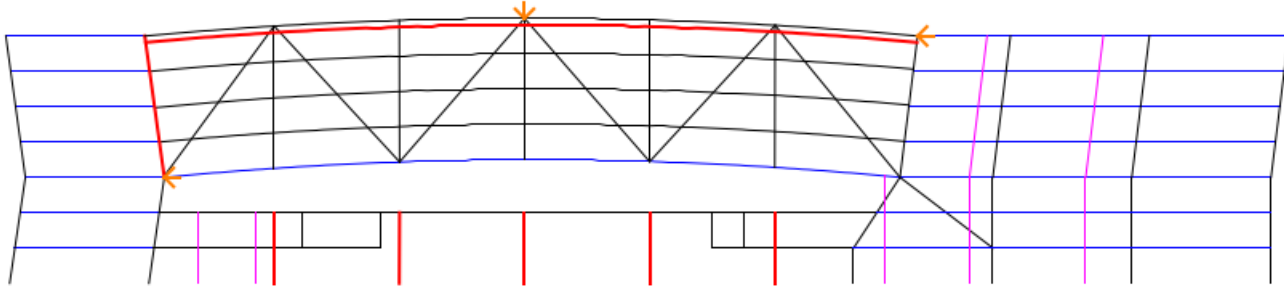
Localisation		Réglage [mm]	
		Théorique (calcul)	Chantier (mesure)
Pile Nord	D	-109	-10
	E	-97	-9
	Moy	-103	-10
Pile Sud	D	-36	-35
	E	-34	-42
	Moy	-35	-39



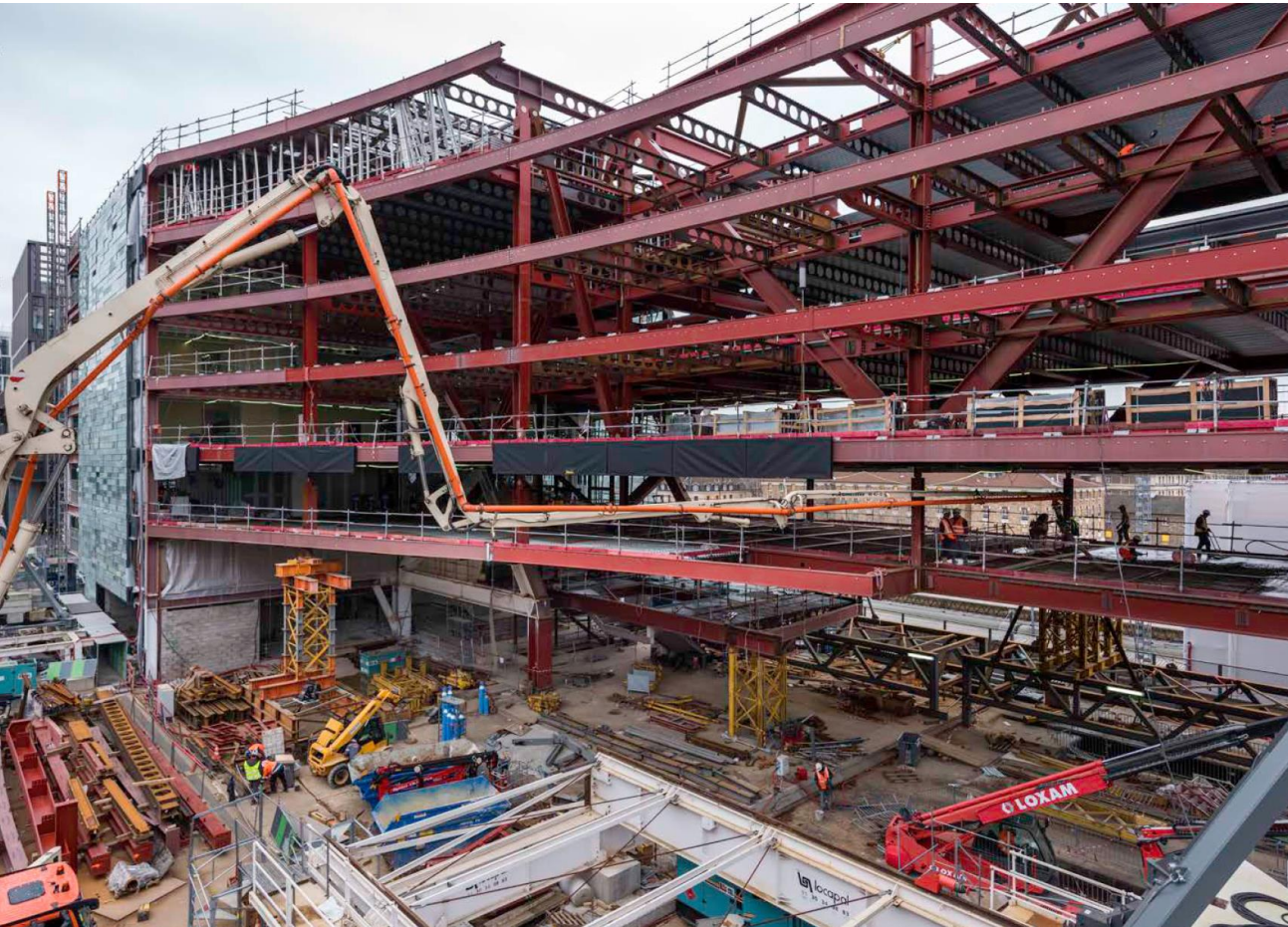
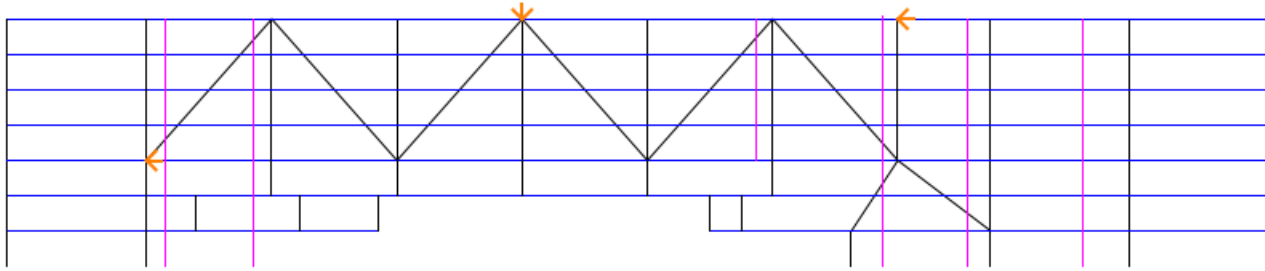
Matrice de raideur							THEORIQUE		CHANTIER	
Déplacmt X	Localisation d'un réglage de 100kN selon X						Déplmt X [mm]	Réglage Fx [to]	Déplmt X [mm]	Réglage Fx [to]
	LOC	E4+3	D4+3	E4+7	D4+7	E9.1+7	D9.1+7			
	E4+3	16	2	0	0	0	0	47	27	38
	D4+3	2	20	0	0	0	0	41	18	71
	E4+7	26	3	66	18	0	0	-109	-8	-9
	D4+7	3	23	18	25	0	0	-97	-33	-10
	E9.1+7	0	0	0	0	-36	-33	38	-6	35
	D9.1+7	0	0	0	0	-34	-34	36	-5	42
moyenne 9.1+7 :							37.12		38.50	



5) Déverinage



6) PAF – R+2 suspendu - Bétonnage



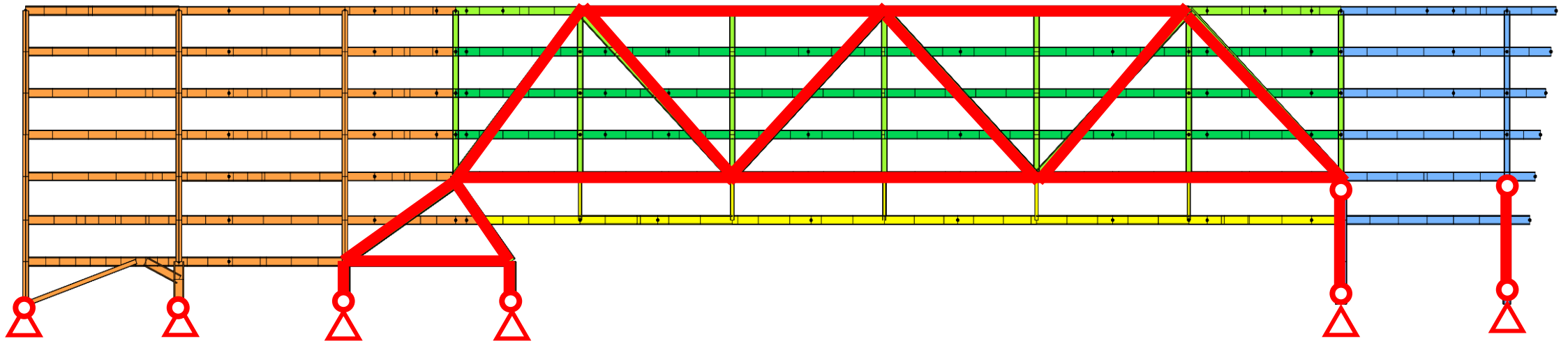
Le Monde

- Présentation
- Missions Greisch
- Tabliers existants
- Montage – Contreflèches
- **Comportement global**
- Etudes des noeuds
- Déverinage



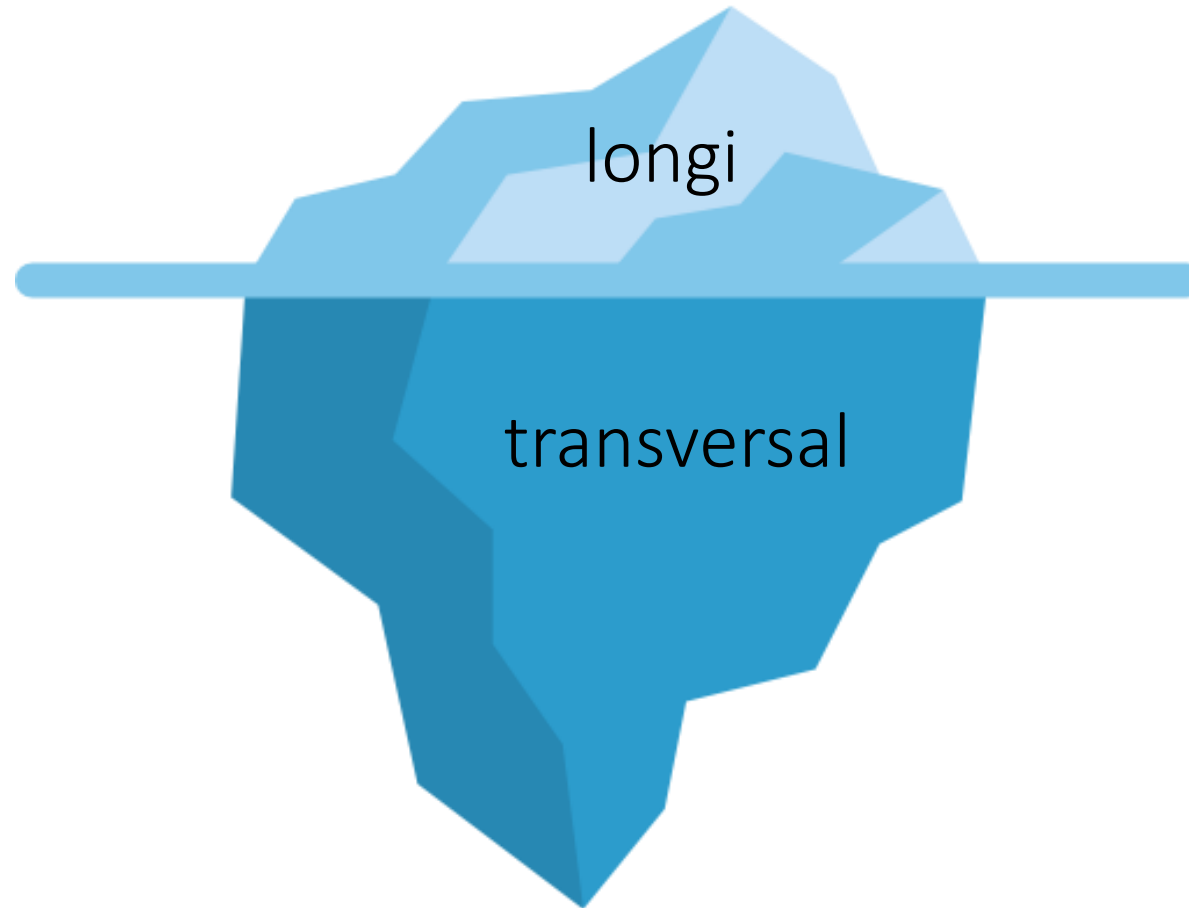
Comportement global

- Longitudinalement : Bâtiment-pont

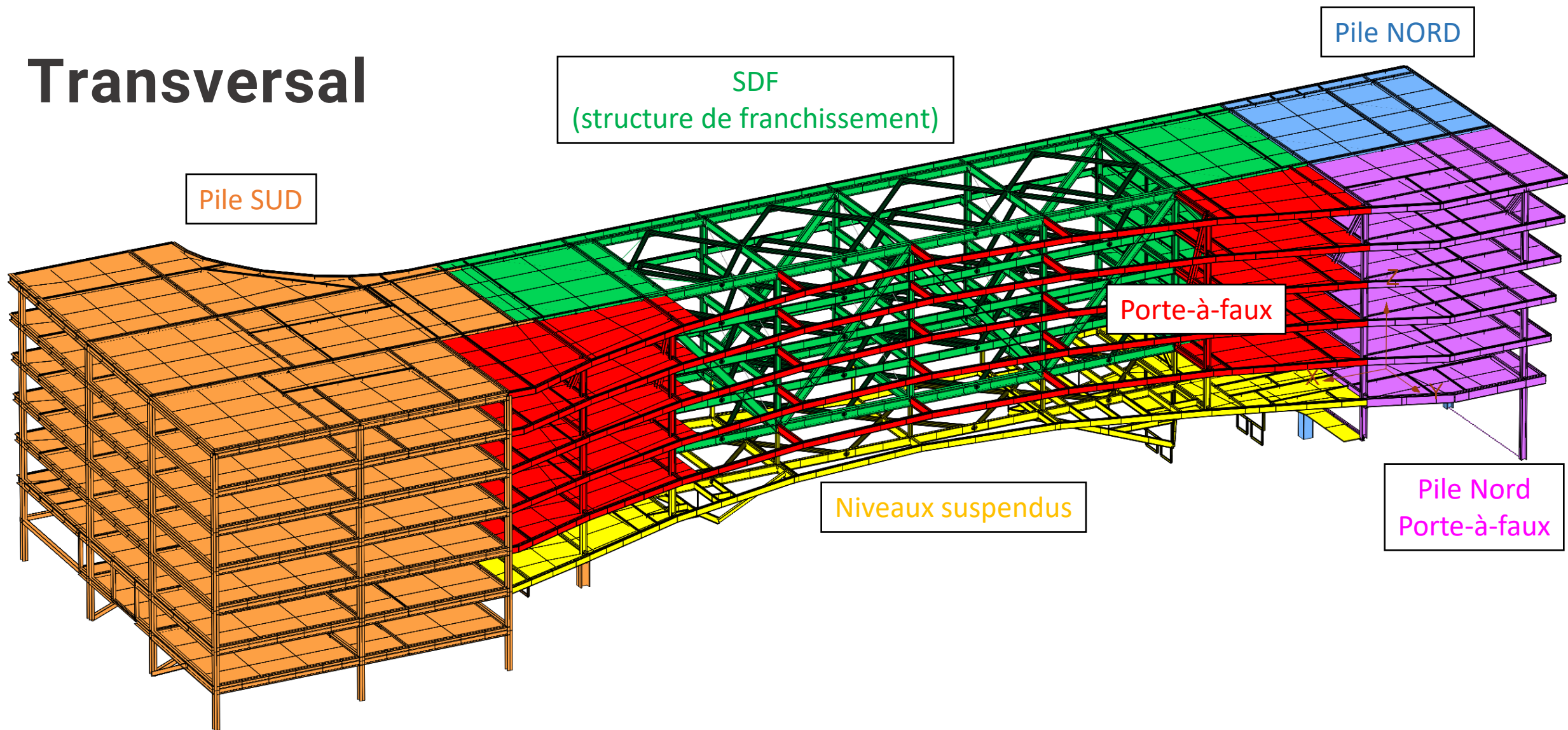


Comportement global

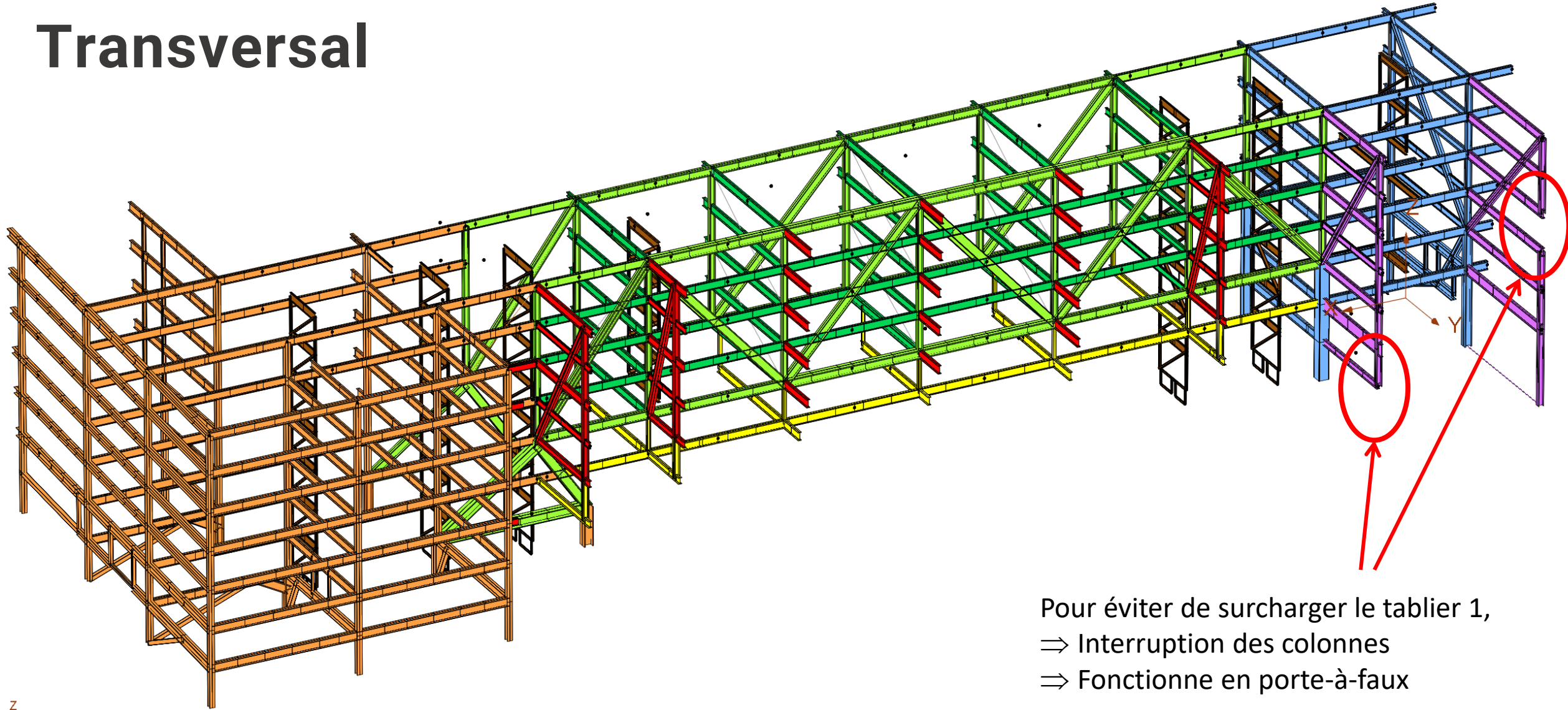
- Transversalement : planchers en porte-à-faux



Transversal

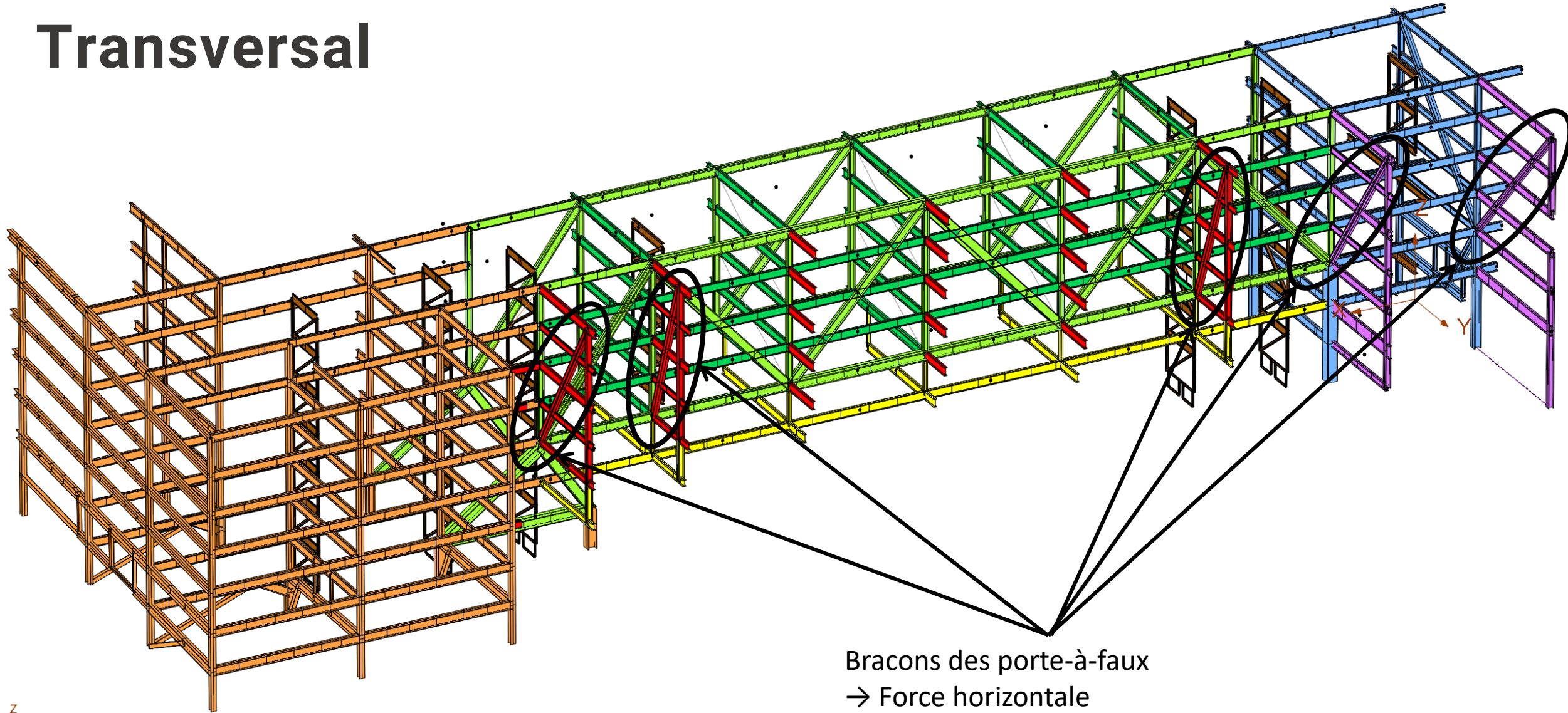


Transversal

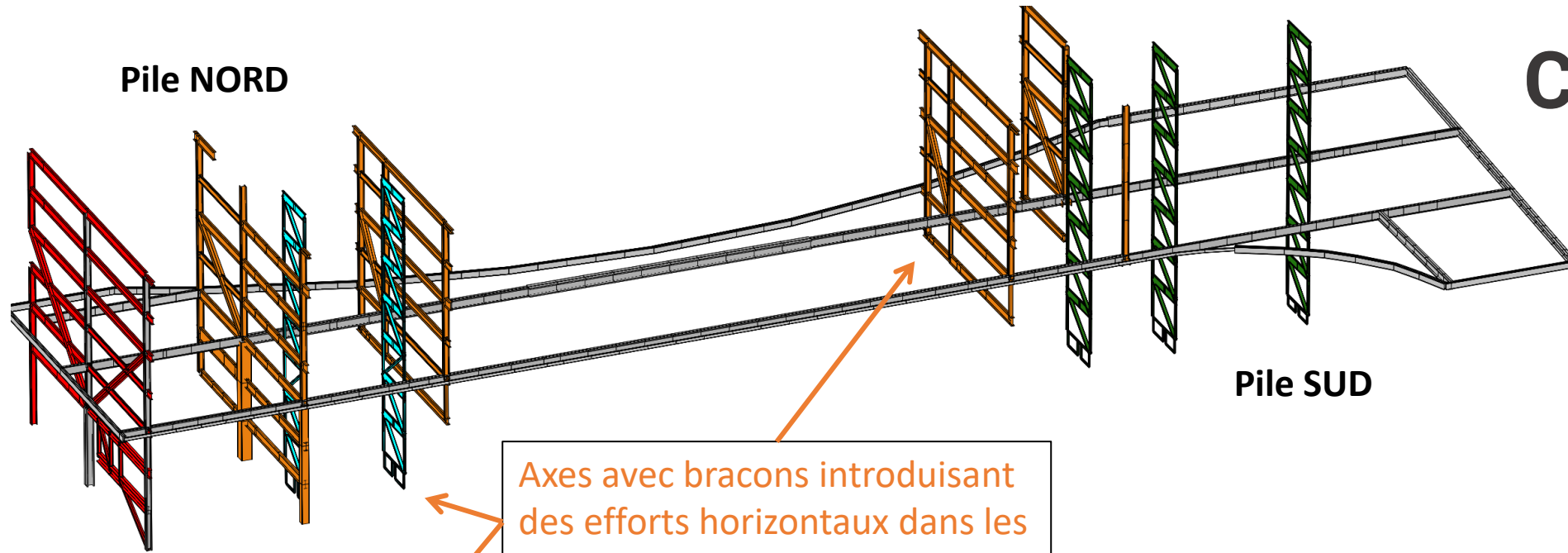


Pour éviter de surcharger le tablier 1,
⇒ Interruption des colonnes
⇒ Fonctionne en porte-à-faux

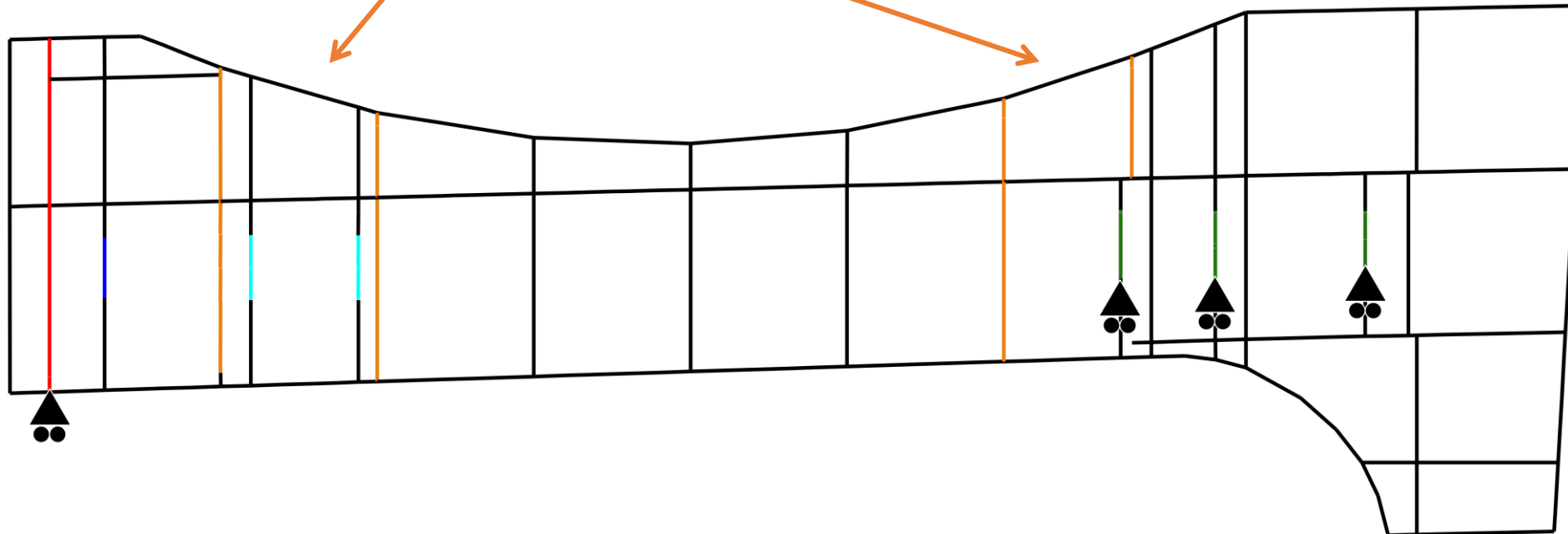
Transversal



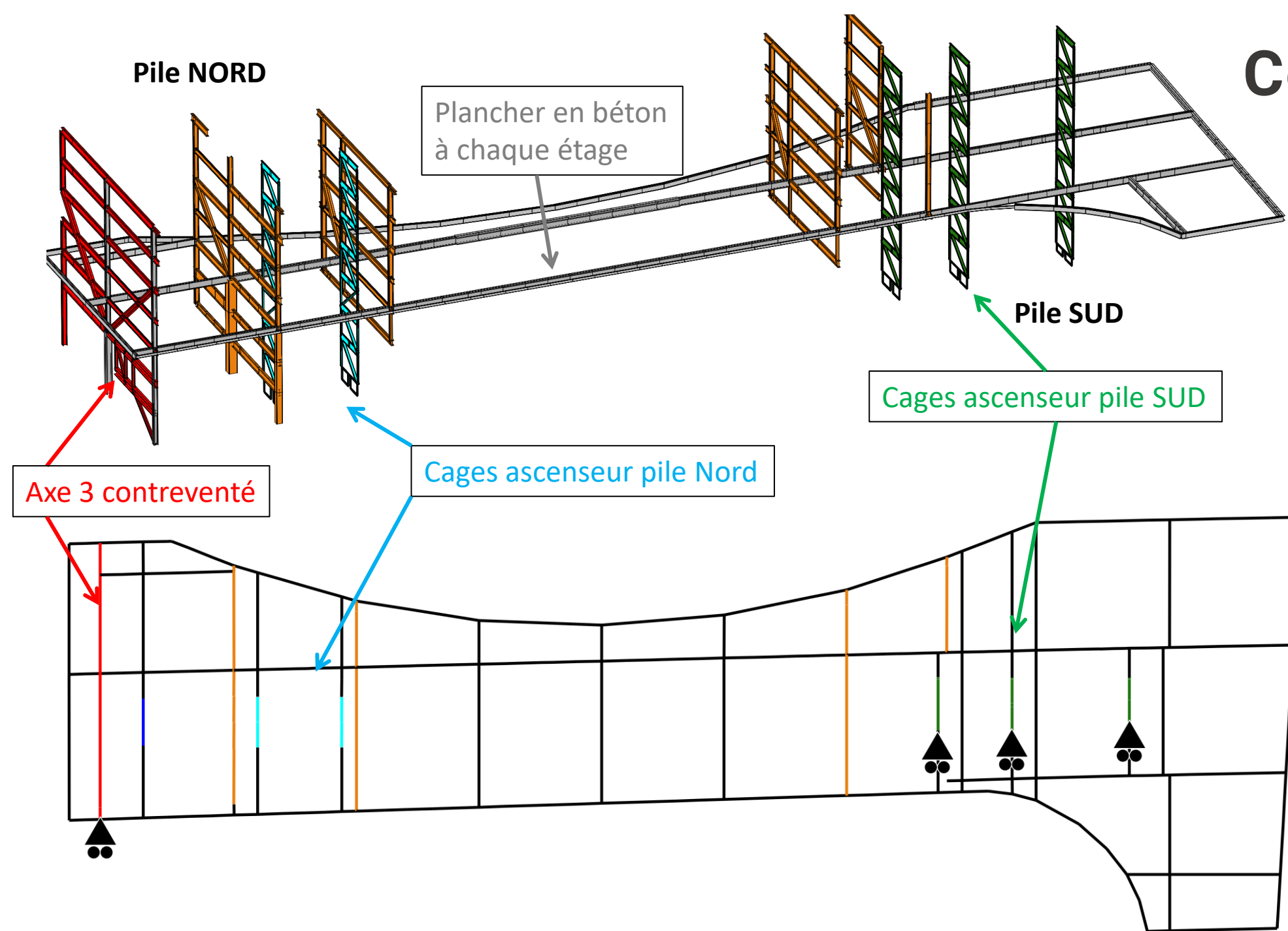
Configuration Projet



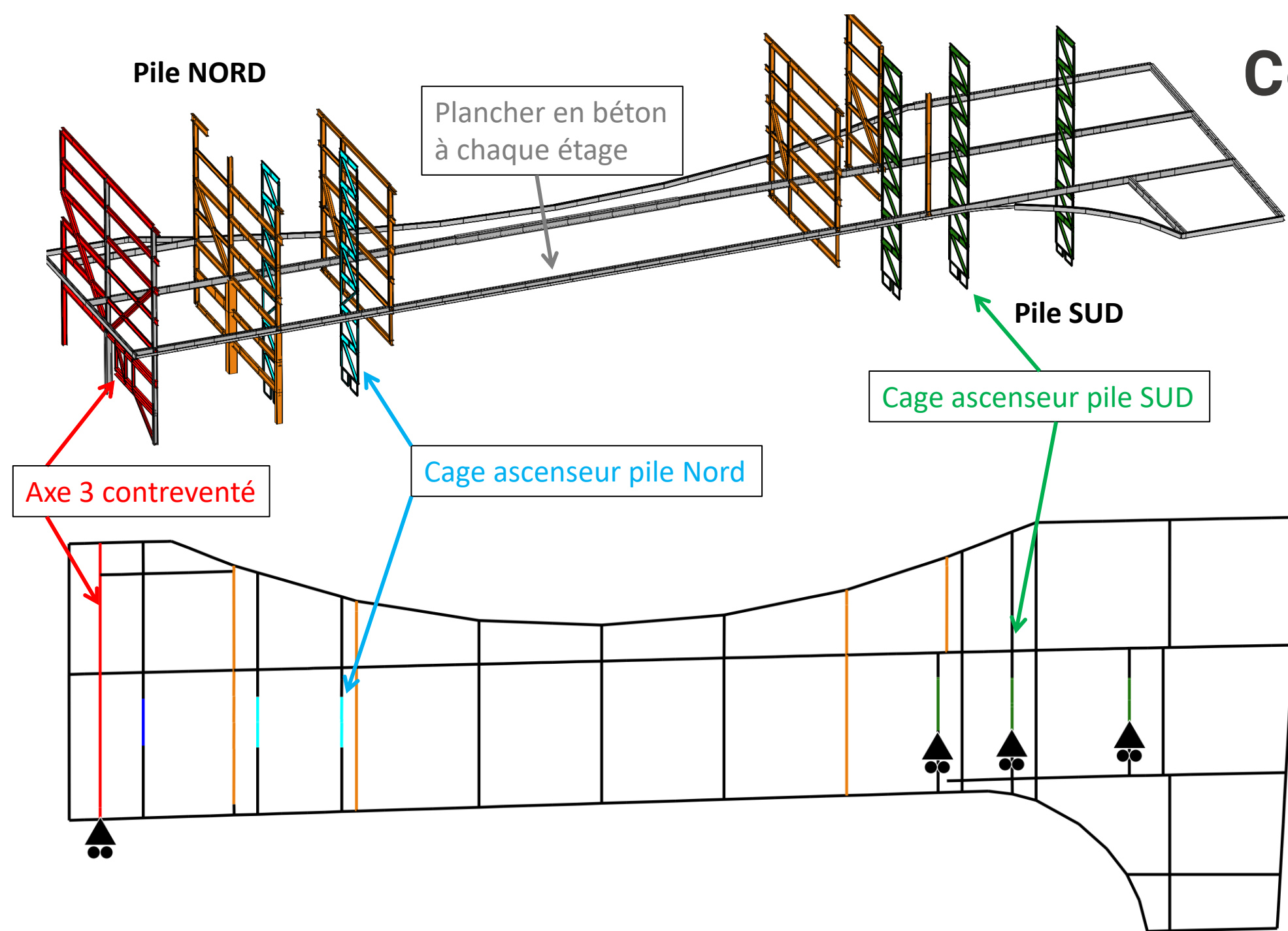
Axes avec bracons introduisant
des efforts horizontaux dans les
planchers



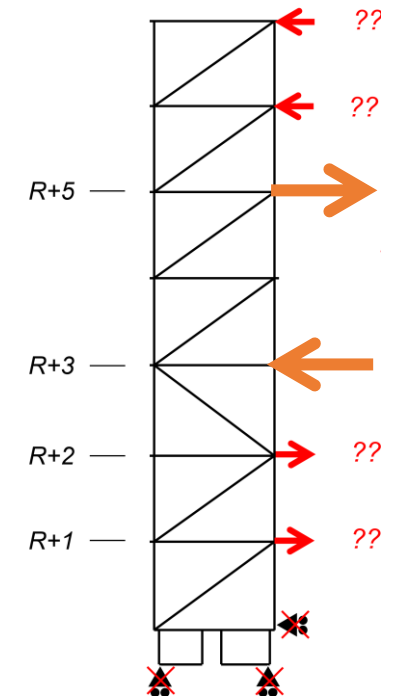
Configuration Projet



Configuration Projet



Cages nord

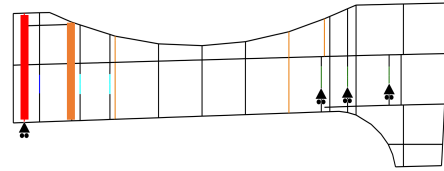


Pas d'appui
sur le tablier

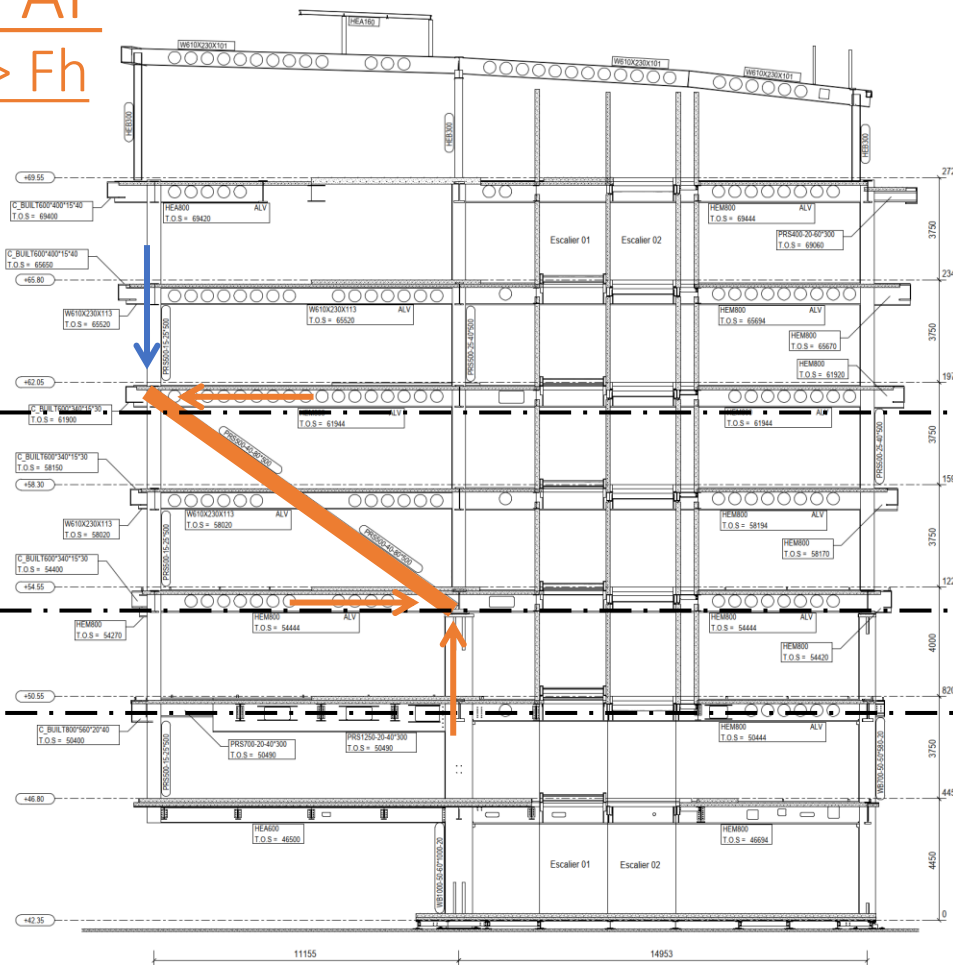
Configuration Projet

Axe 3
Équilibre de Fh

Axe 4 : PAF
Bracon -> Fh



Coupe sur file 4
1:100

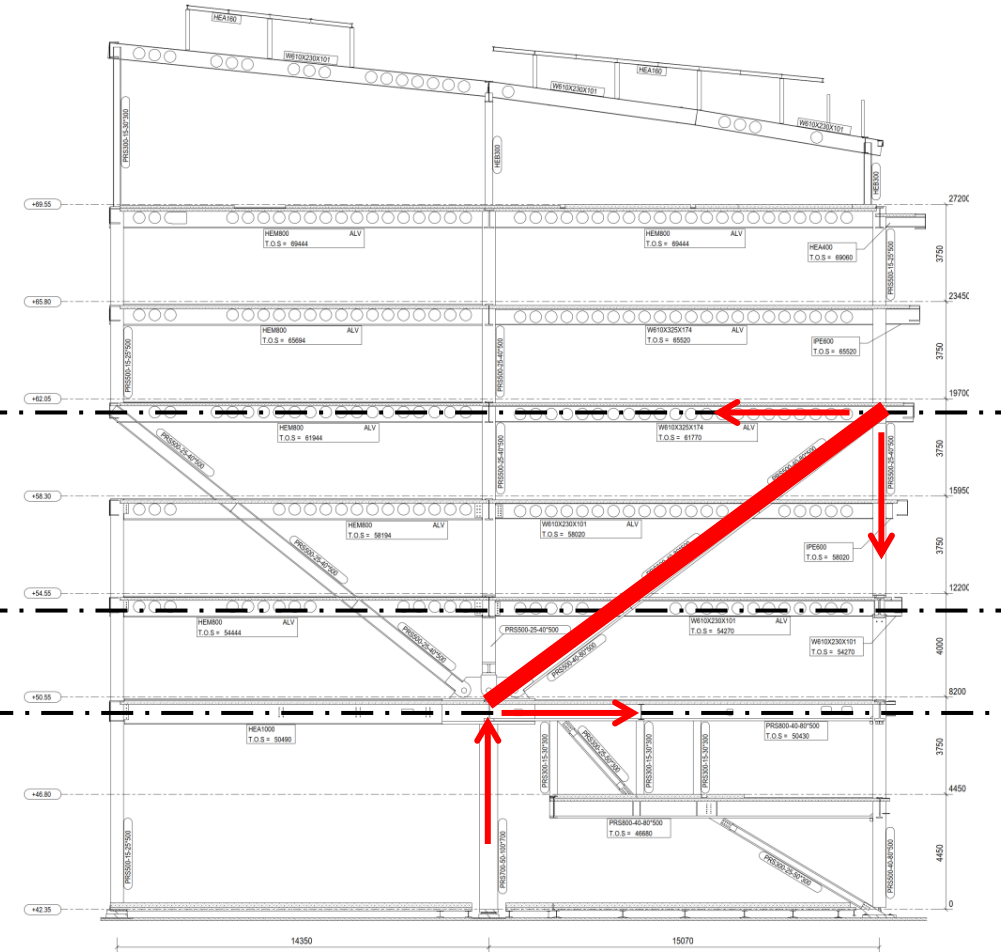


R+5

R+3

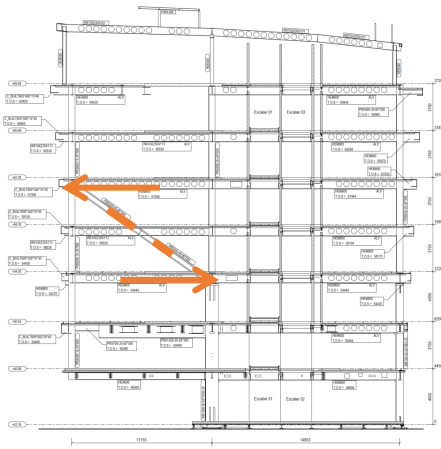
R+2

Coupe sur file 3
1:100



Axe 4

Coupe par file 4



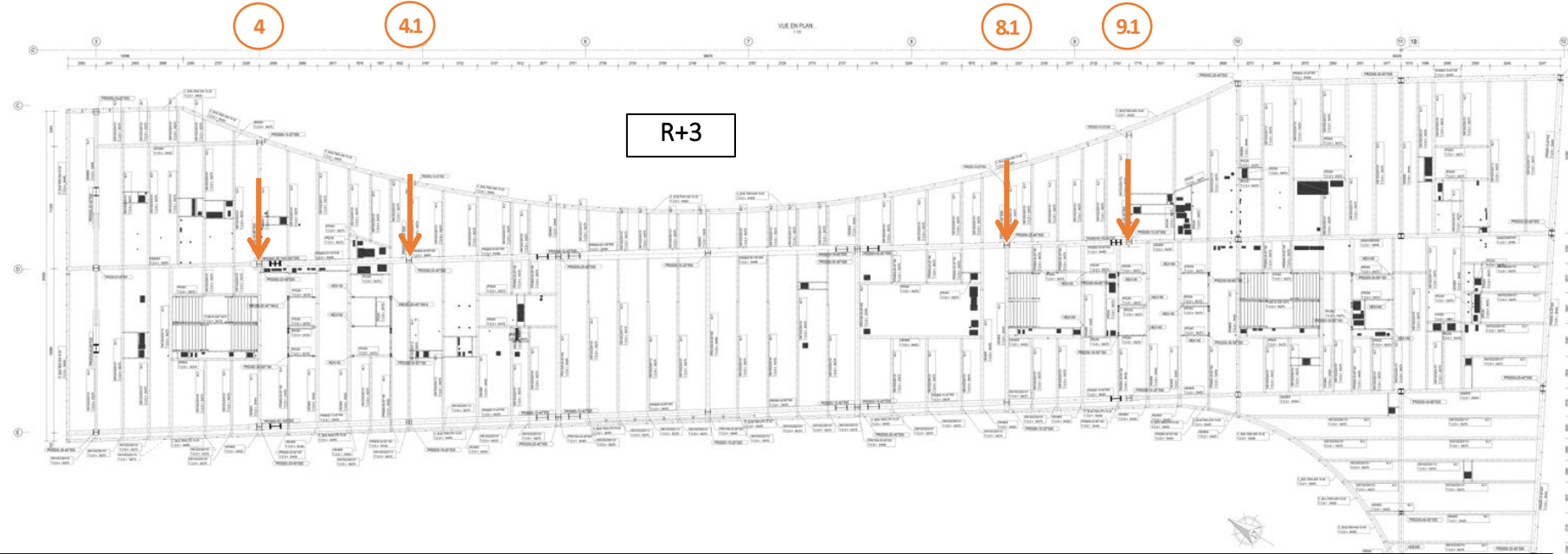
4

4.1

8.1

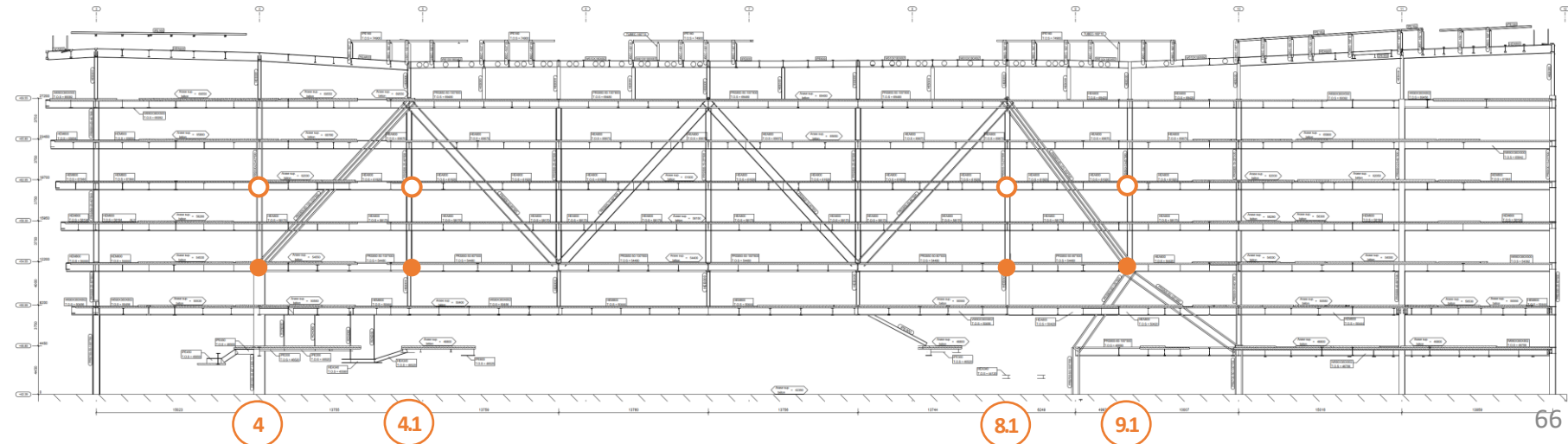
9.1

R+3



Equilibre des charges horizontales : Bracon : F_h

File D



4

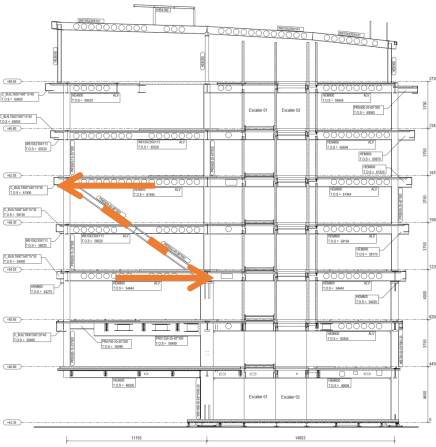
4.1

8.1

9.1

Axe 4

Coupe par file 4



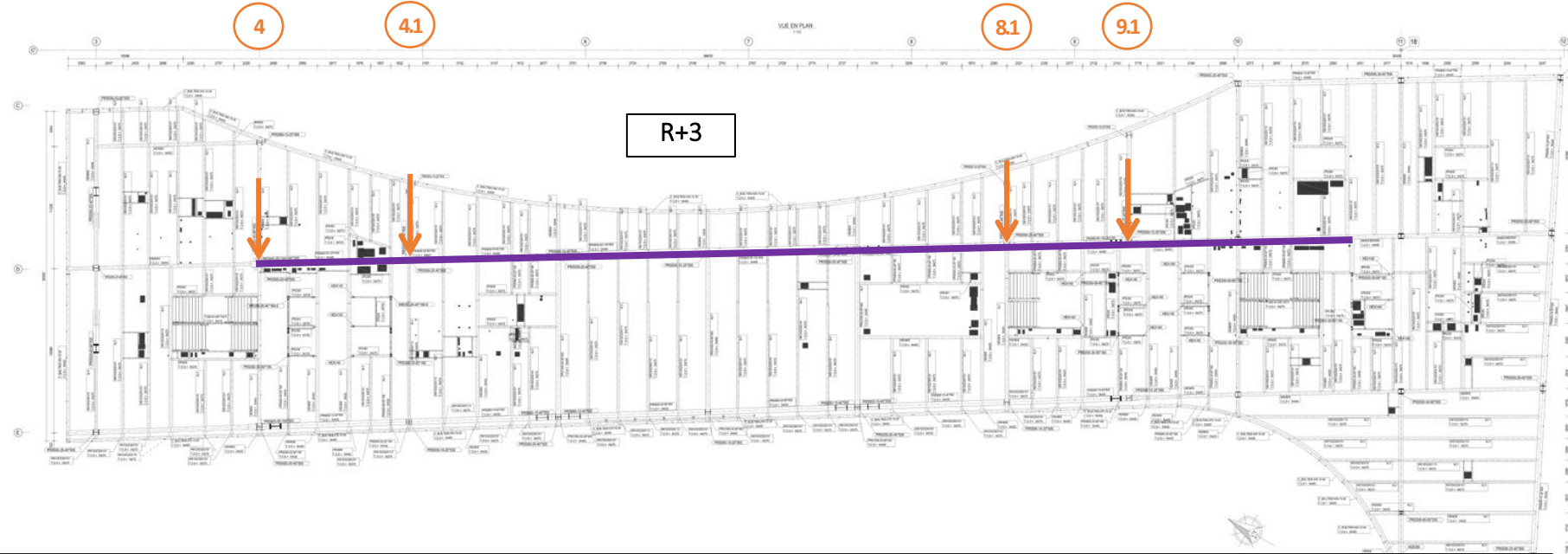
4

4.1

8.1

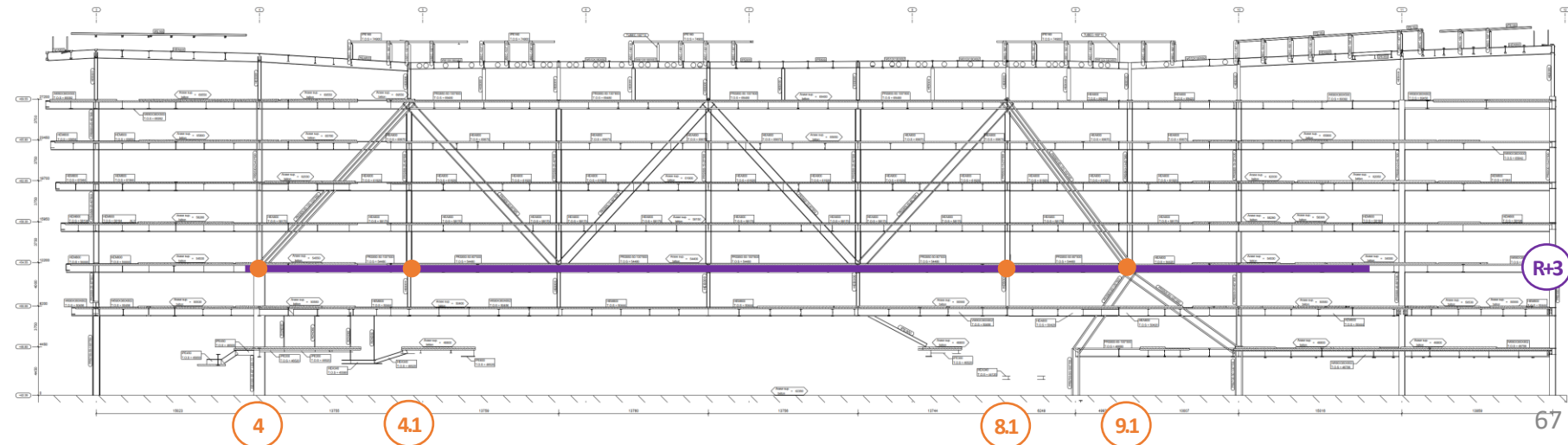
9.1

R+3



Equilibre des charges horizontales : Bracon : $F_h \rightarrow$ plancher R+3

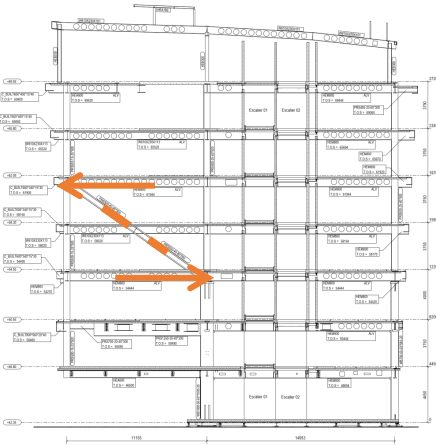
File D



R+3

Axe 4

Coupe sur file 4



4

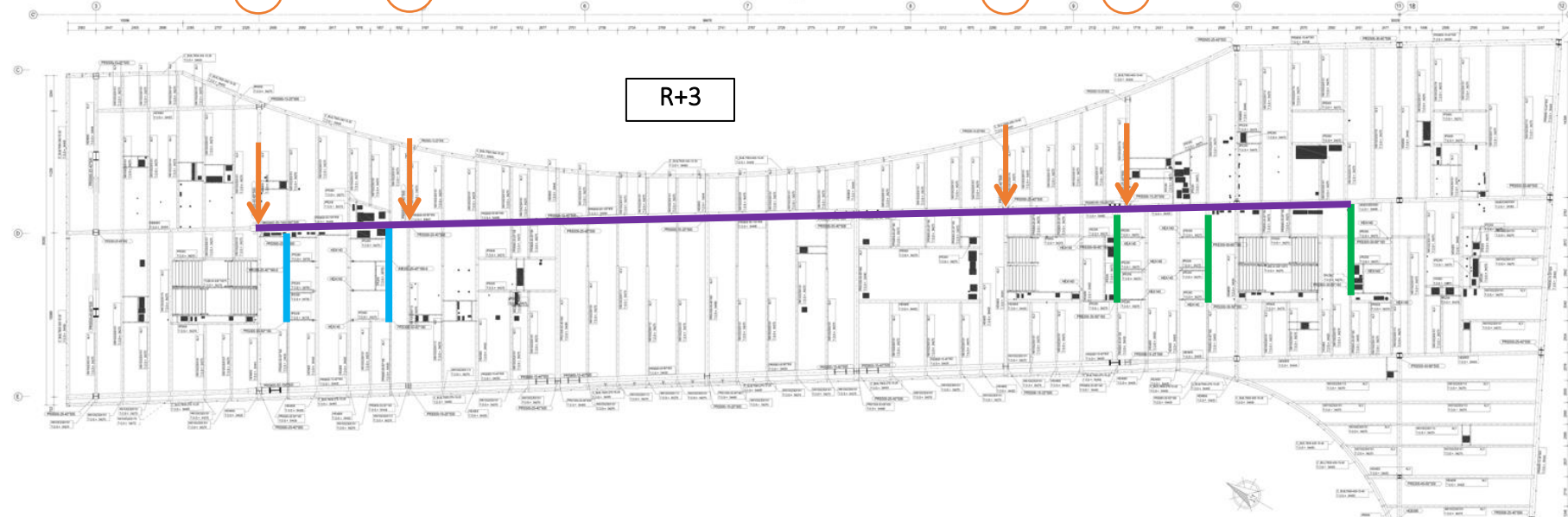
4.1

8.1

9.1

VUE EN PLAN

R+3

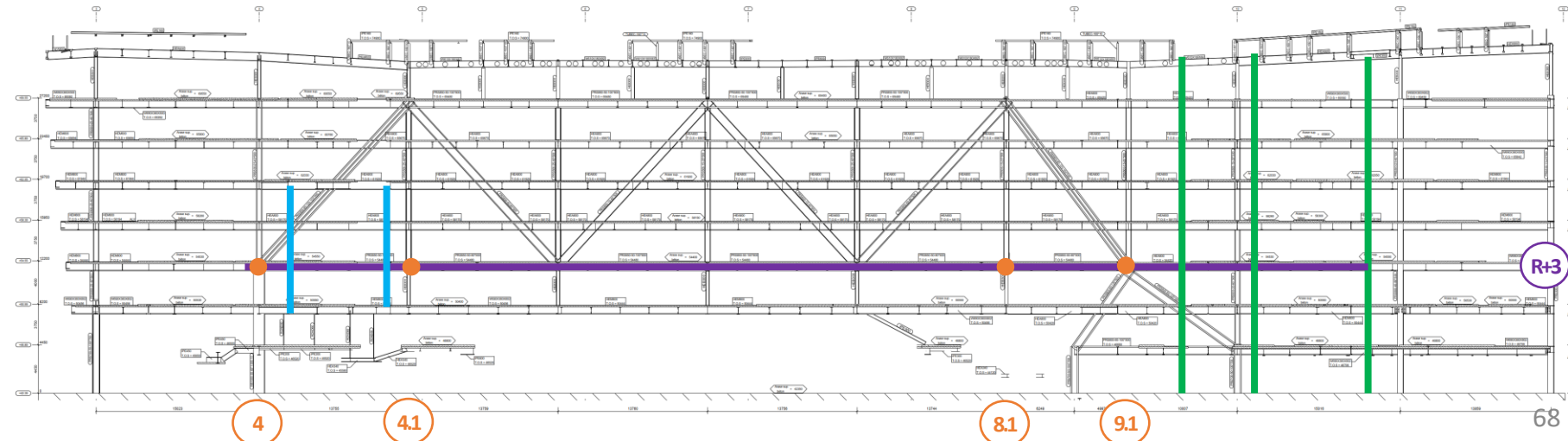
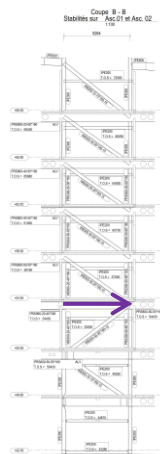


Equilibre des charges horizontales : Bracon : $F_h \rightarrow$ plancher R+3 $\rightarrow$ cages

& cages

Cages

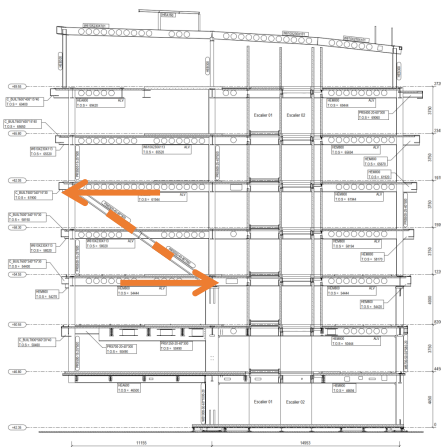
File D



R+3

Axe 4

Coupe sur file 4



4

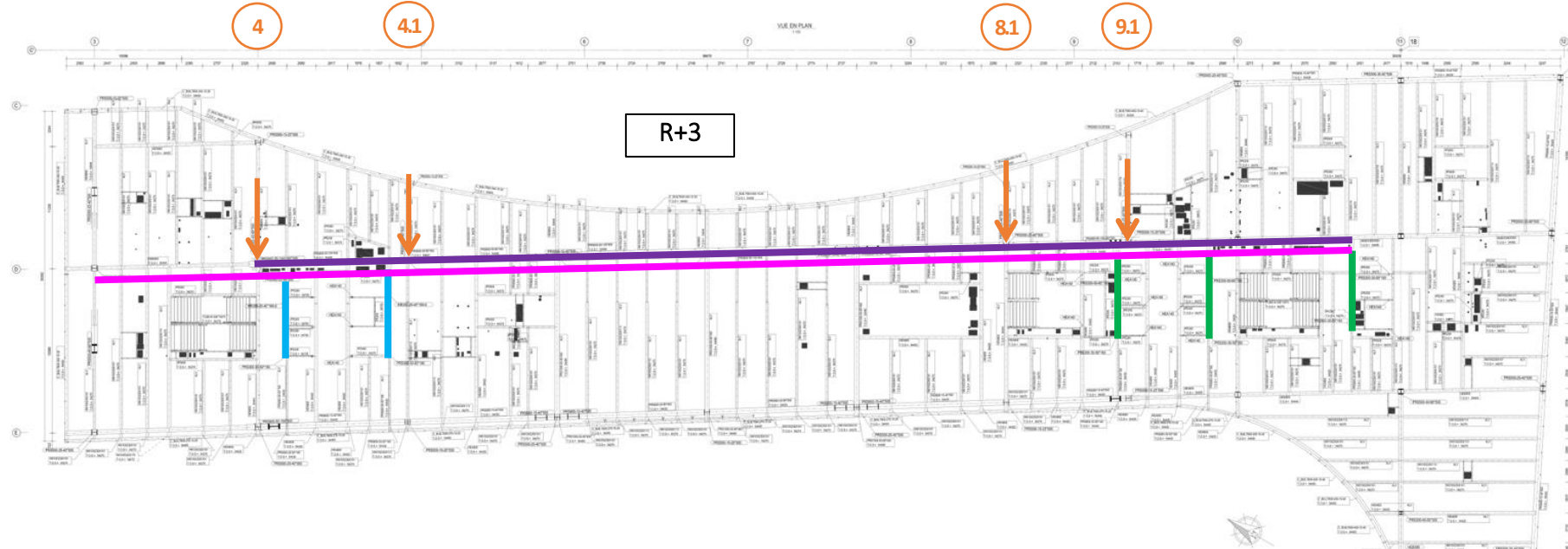
4.1

8.1

9.1

VUE EN PLAN

R+3

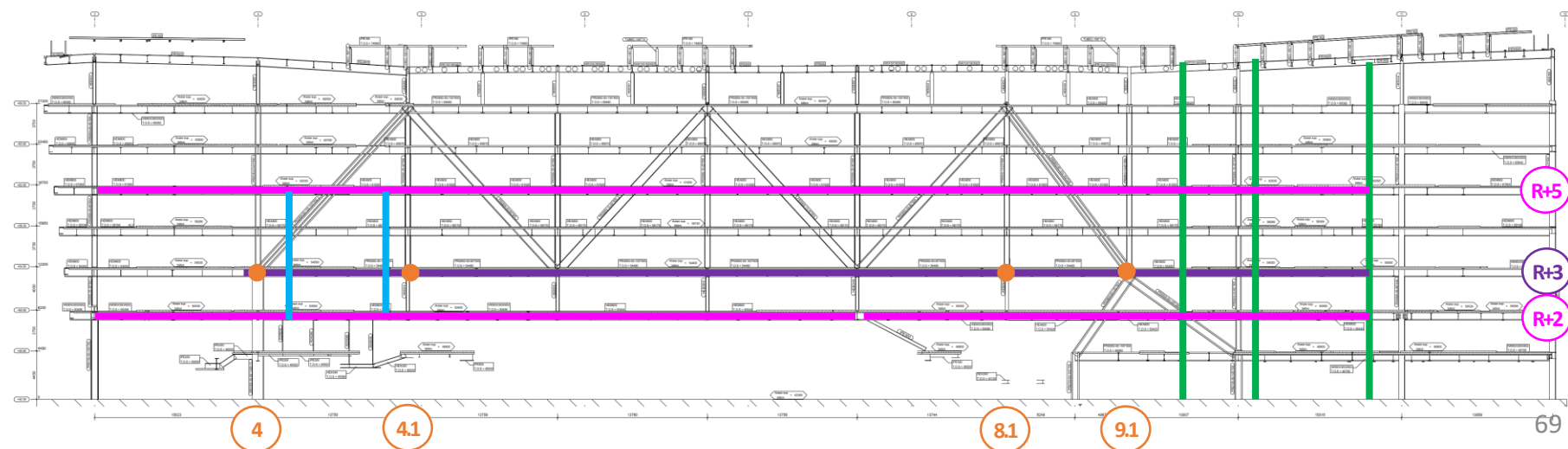


Equilibre des charges horizontales : Bracon : F_h → plancher R+3 → cages → planchers R+2 et R+5 & cages

Cages



File D



R+5

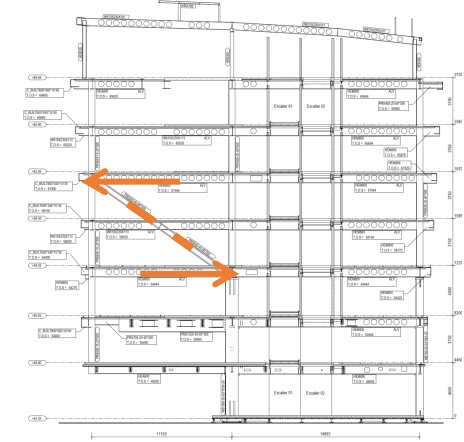
R+3

R+2

69

Axe 4

Coupe sur file 4



3

4

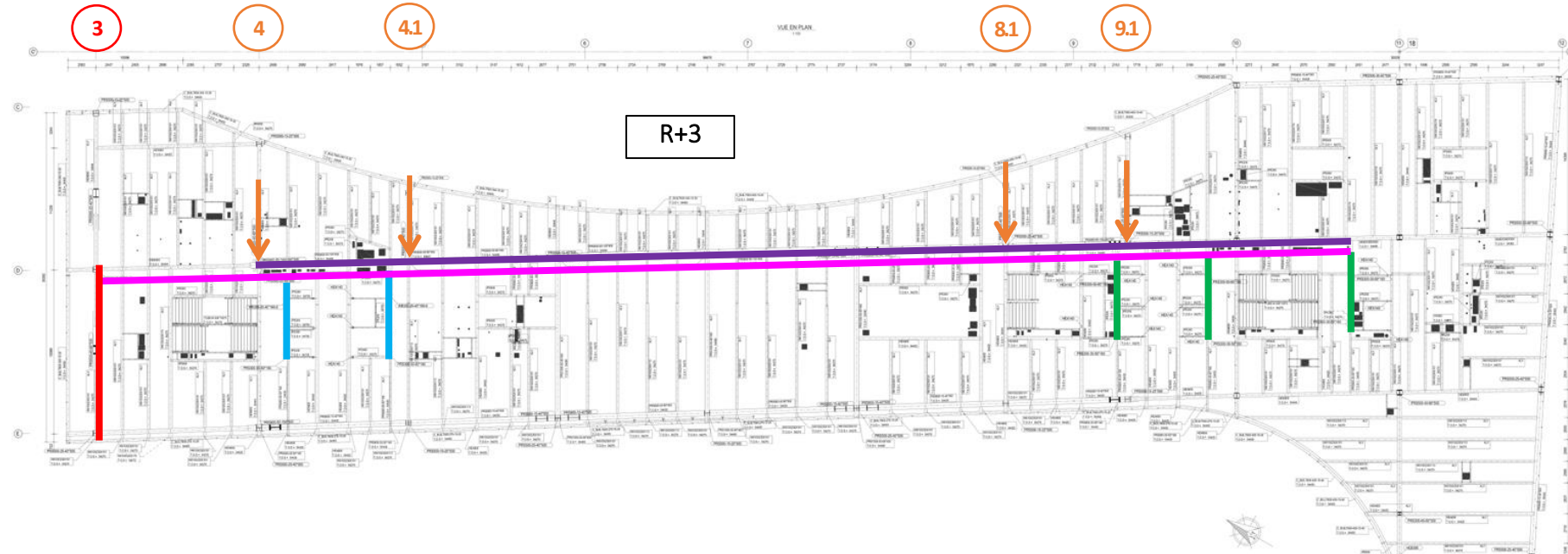
4.1

8.1

9.1

VUE EN PLAN

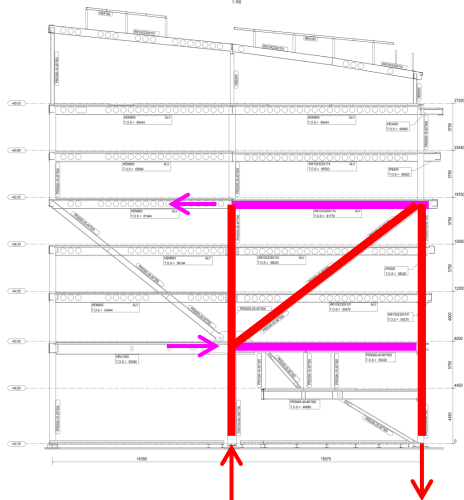
R+3



Equilibre des charges horizontales : Bracon : F_h → plancher R+3 → cages → planchers R+2 et R+5 → axe 3 & cages

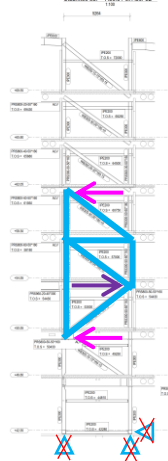
Axe 3

Coupe sur file 3

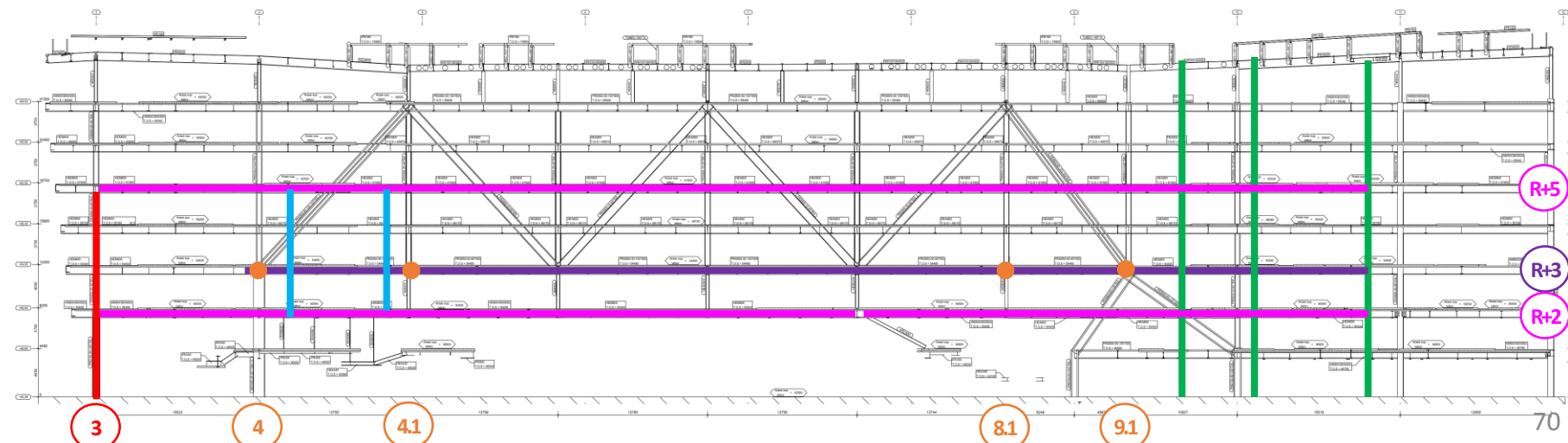


Cages

Coupe 8-8
Stabilités sur Arc 02 et Arc 02



File D



R+5

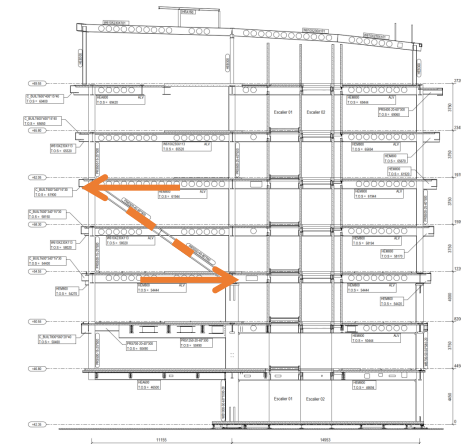
R+3

R+2

70

Axe 4

Coupe sur file 4



3

4

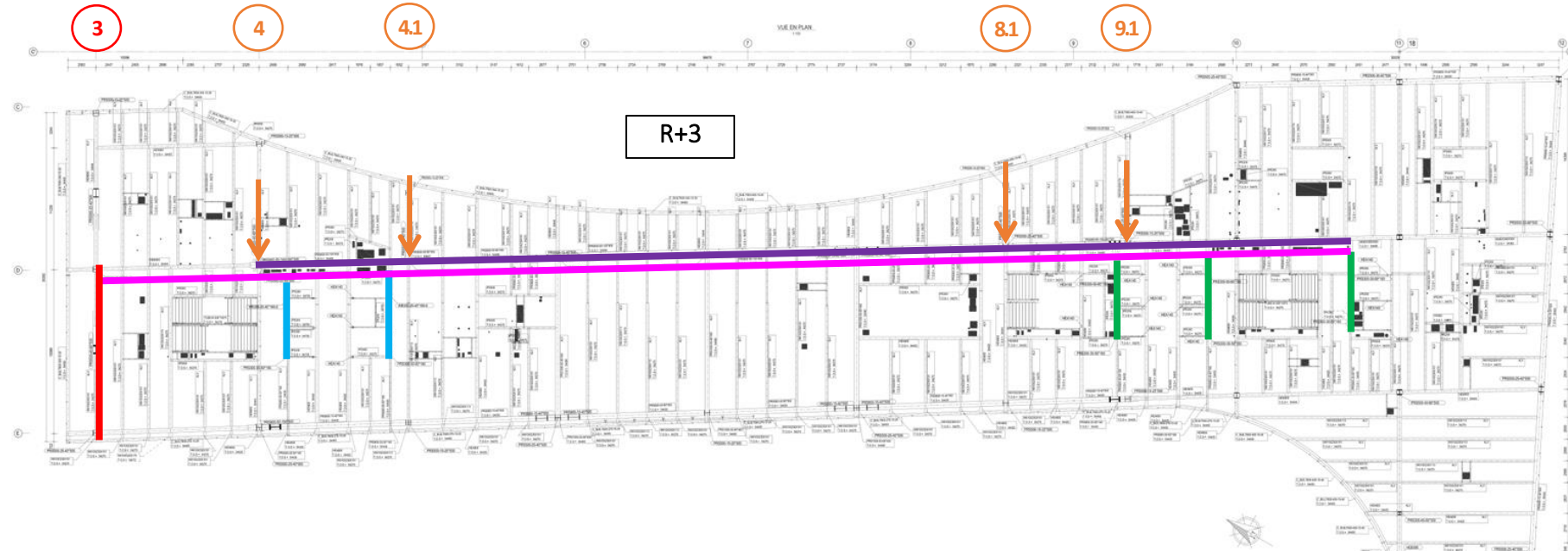
4.1

8.1

9.1

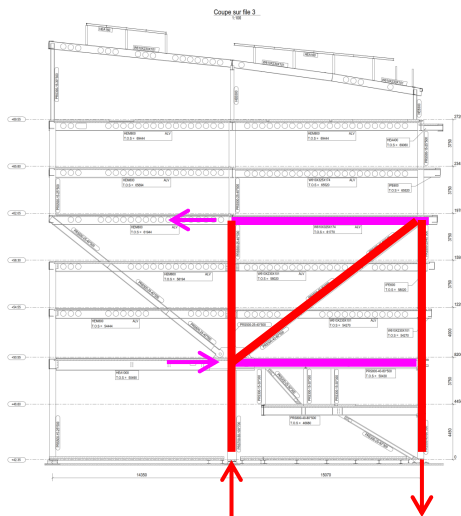
VUE EN PLAN

R+3



Equilibre des charges horizontales : Bracon : F_h → plancher R+3 → cages → planchers R+2 et R+5 → axe 3 & cages

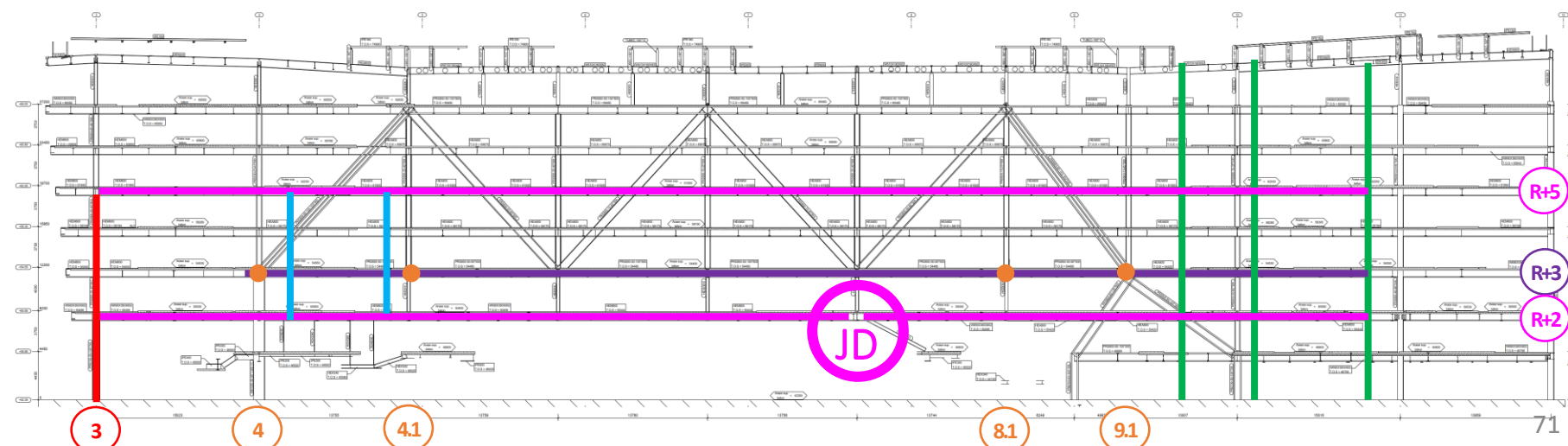
Axe 3



Cages



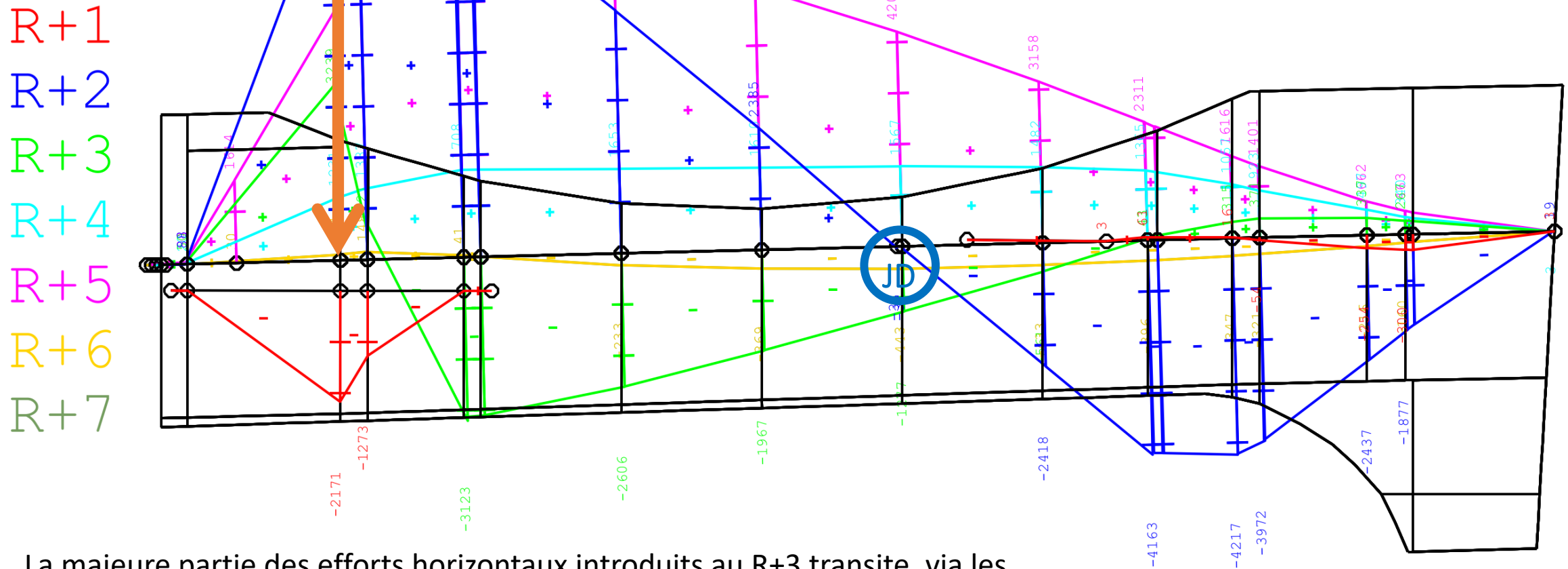
File D



La réalité est un peu plus compliquée (hyperstaticité – interaction avec comportement longi - ...)

Moment de flexion dans les planchers

Sous l'application d'une charge horizontale au R+3 à l'axe 4



La majeure partie des efforts horizontaux introduits au R+3 transite, via les cages d'ascenseur, vers les étages R+2 et R+5 qui sont correctement contreventés

Transversal – Config. Projet

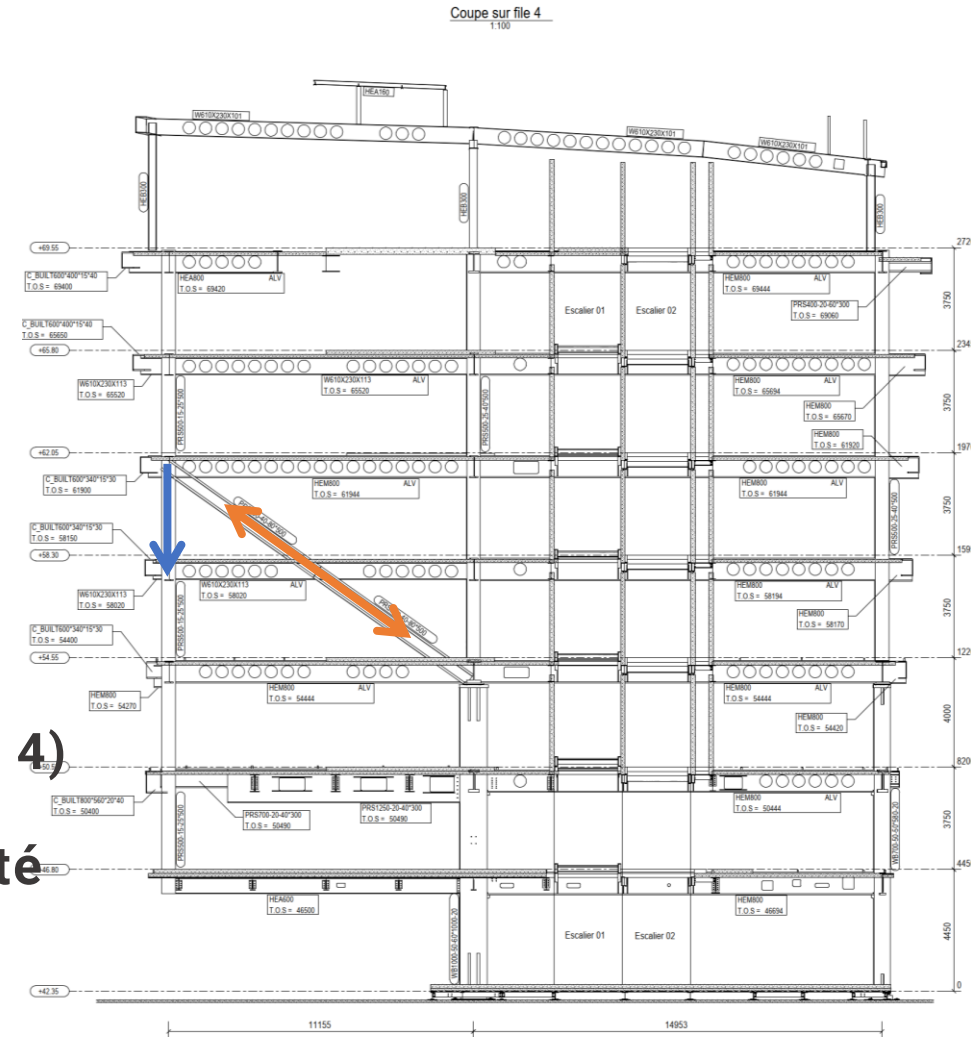
Axe PAF

- Equilibre couple horizontal – Cheminement complexe
- Nécessité de faire travailler les planchers mixtes
Non prévu dans le cahier des charges: « *En pied et en tête des diagonales, des structures horizontales permettent de reporter les efforts horizontaux sur les palées de contreventement, sans utiliser les planchers collaborant.* »

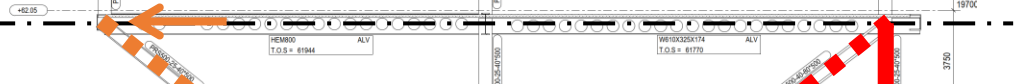
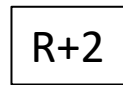
**NB: dalle 13cm sur plancher collaborant
-> partie pleine 7cm !!!**

-> Efforts localisés trop importants (900To bracon axe 4)

- Déformée latérale trop importante au Nord – Flexibilité cages ascenseur



Axe PAF



Axe 3

Recalage du CVT

Coupe sur file 4
1:100

Coupe sur file 3
1:100

75

Optimisation – Etudes EXE

Axe PAF

Utilisation planchers mixtes au R+3 & R+7
Dalle ‘diamant’ avec membrures poutres treillis longitudinales

Axe 3

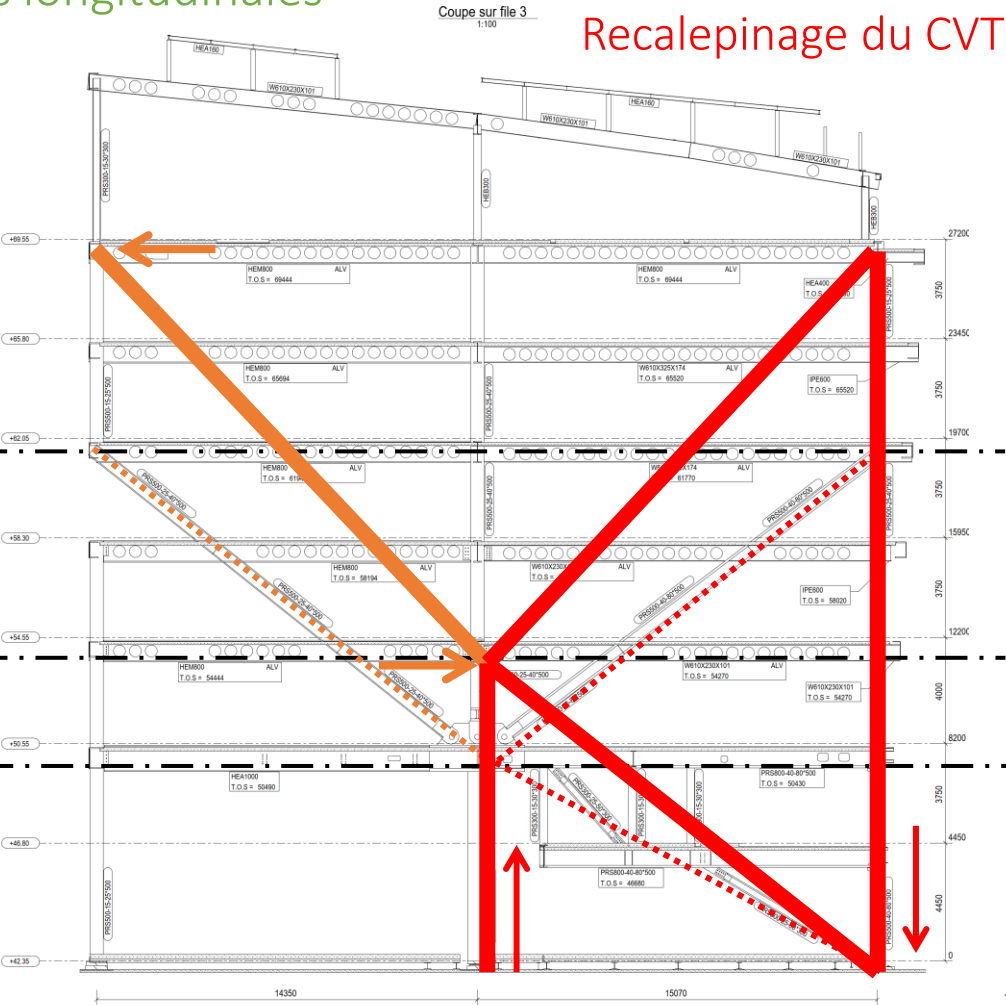
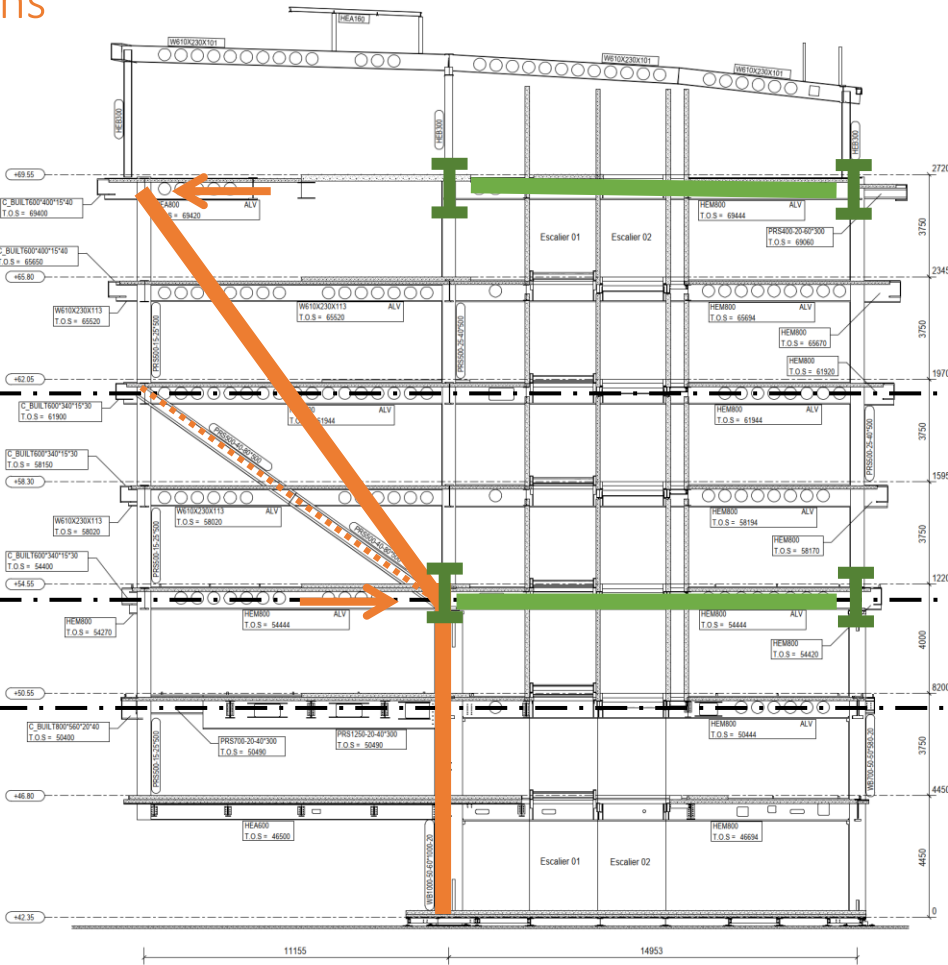
Relever les bracons

→ Fh <<

R+5

R+3

R+2



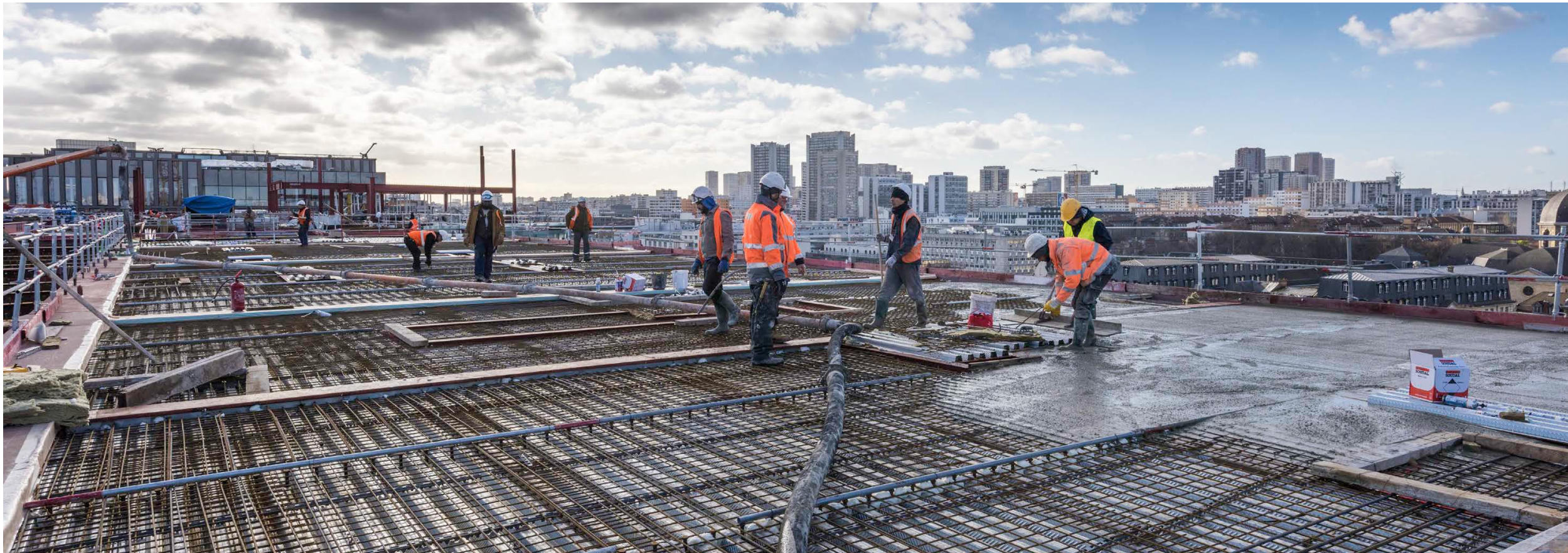
Recalepinage du CVT

Optimisation – Etudes EXE

- **Efforts horizontaux diminués**
- **Flexion confinée aux planchers R+3 et R+7**
- **Transition vers File 3 (Nord) et cages ascenseur (Sud) via planchers mixtes**
- **Equilibre direct via contreventement modifié en Axe 3**
- **Aux R+3 et R+7 – Dalles pleines sur les piles**
- **Dalles ‘diamant’ sur plancher collaborant pour la structure de franchissement**

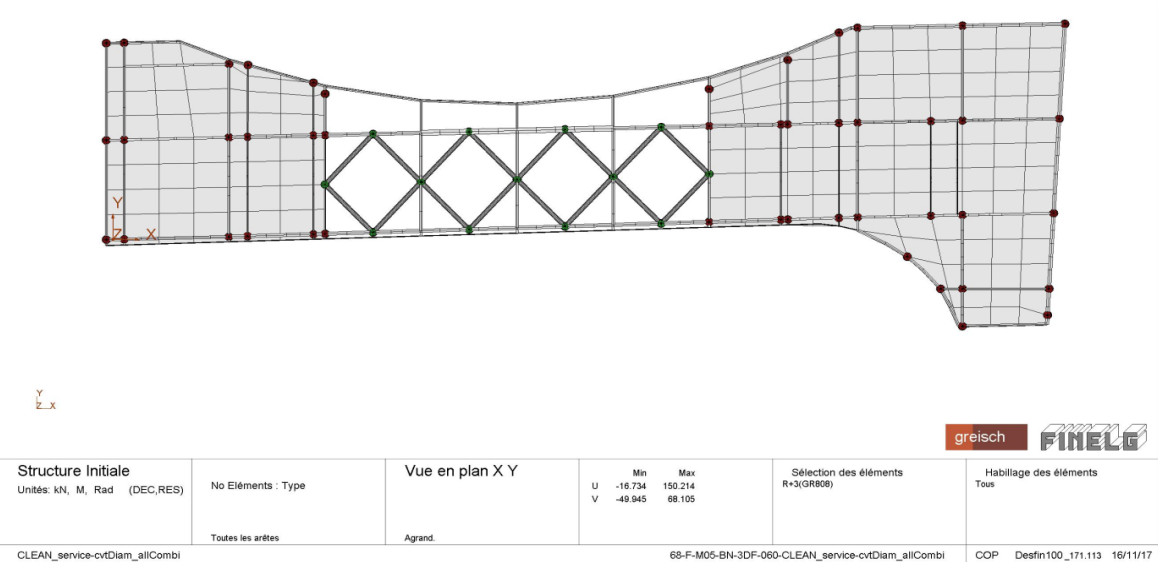
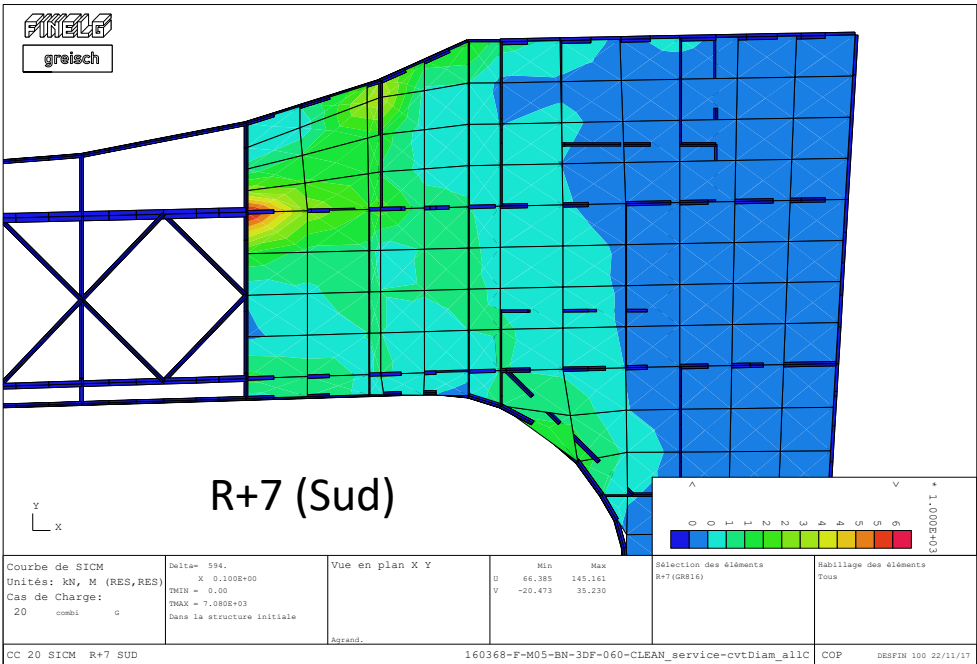
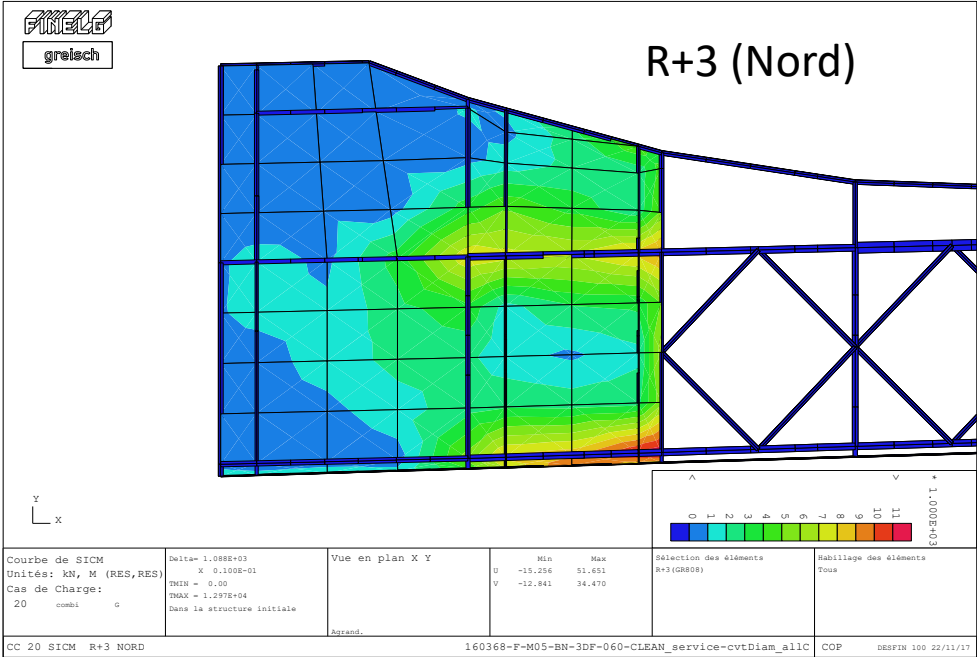
Comportement mixte

- Les planchers des piles fonctionnent en poutres mixtes



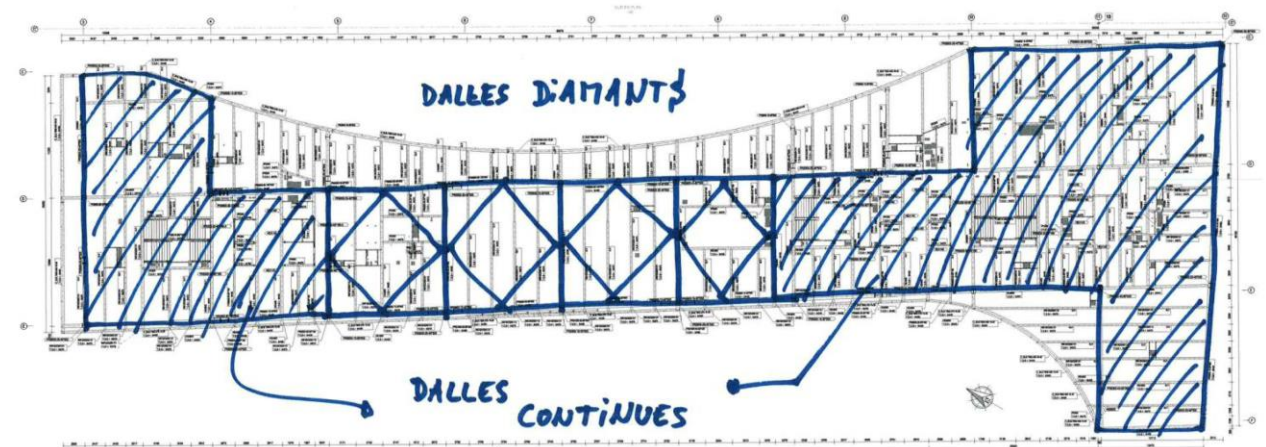
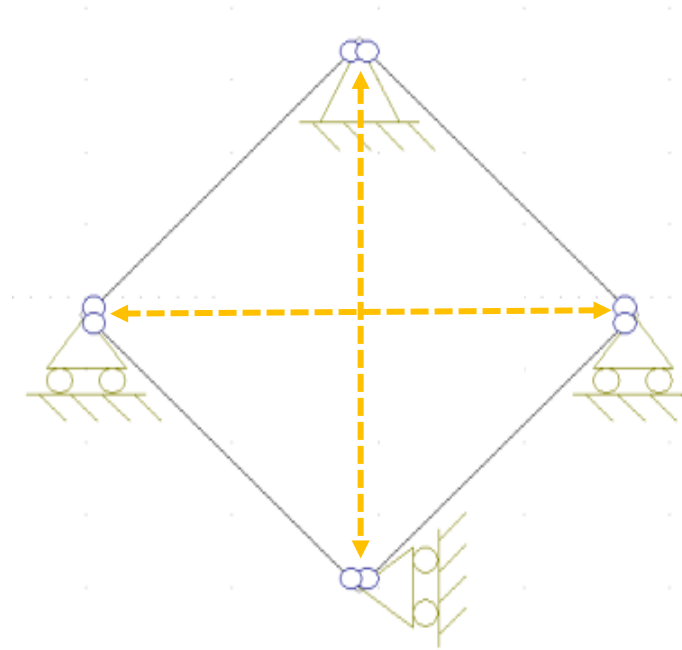
Comportement mixte

- Les planchers des piles fonctionnent en poutres mixtes
- Les planchers aux R+3 et R+7 transfèrent les grands efforts (dus aux porte-à-faux) amenés par les bracons – dalles pleines (15cm N et 10cm S)



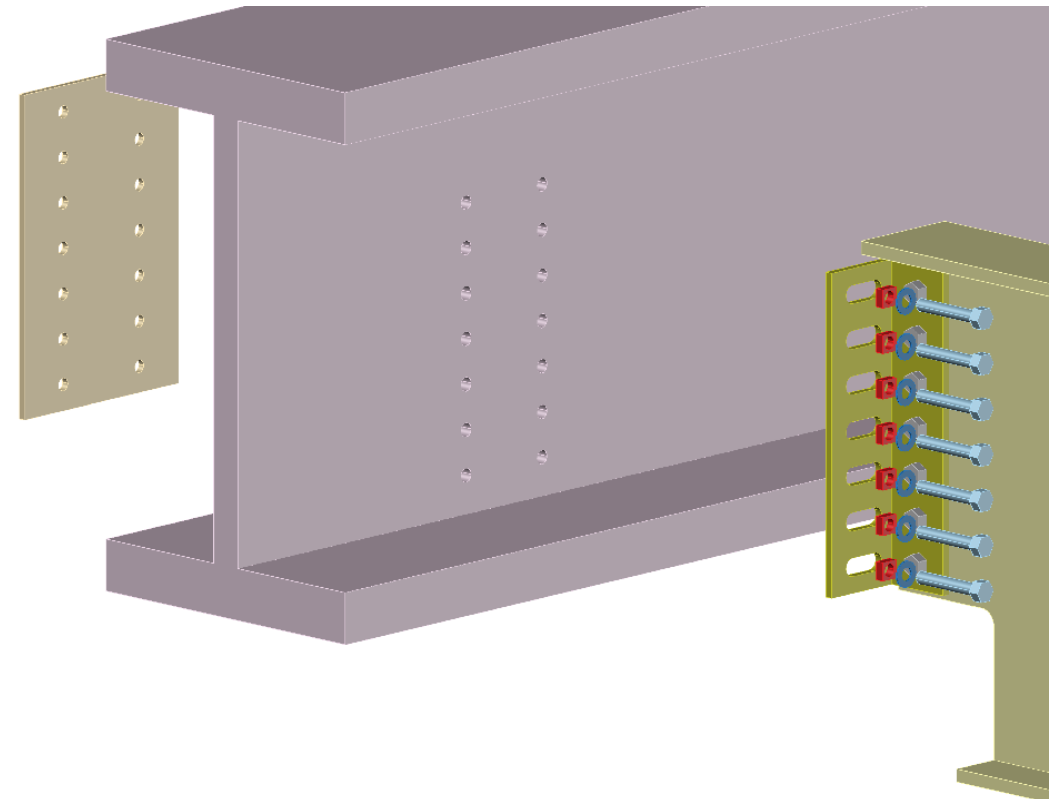
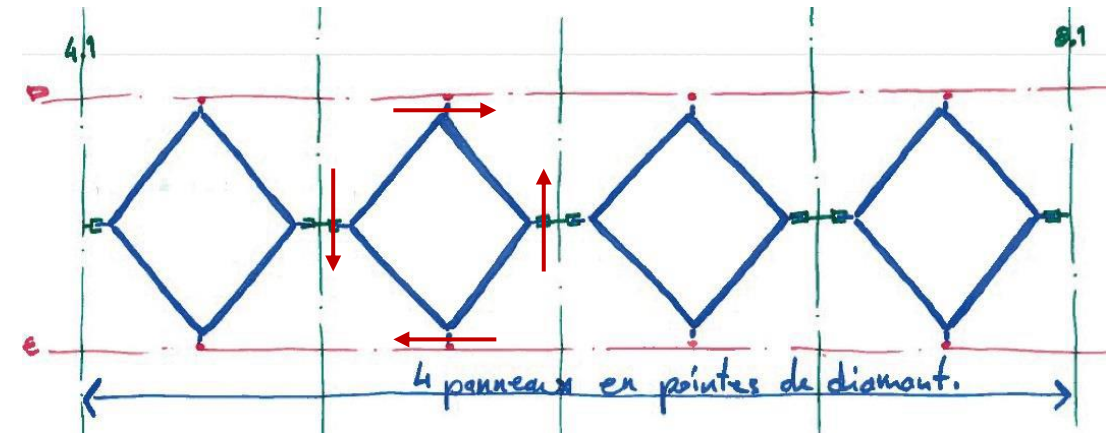
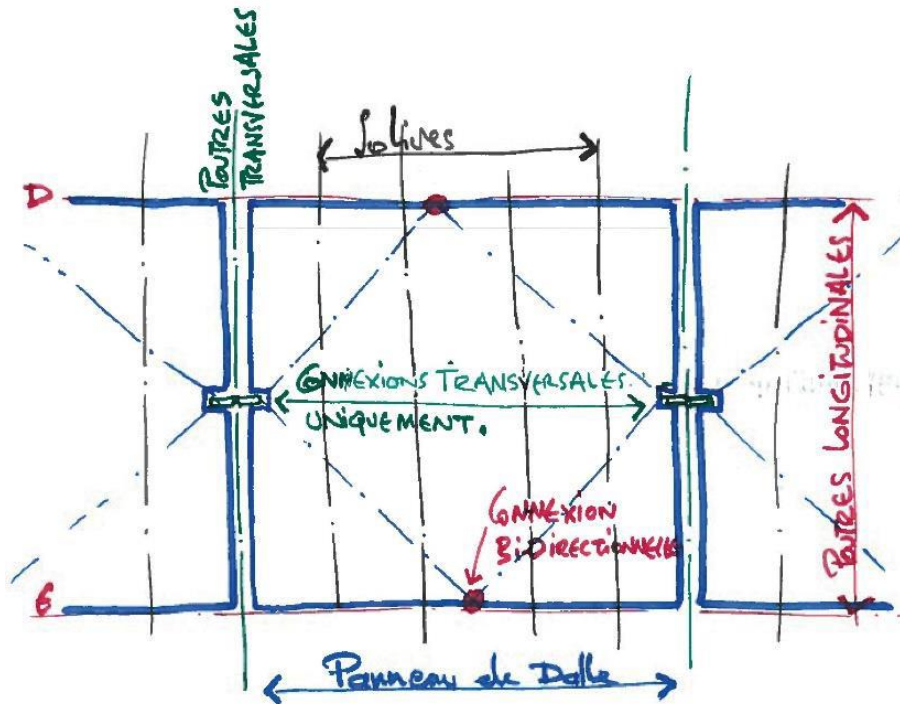
Comportement mixte

- Les planchers des piles fonctionnent en poutres mixtes
- Les planchers aux R+3 et R+7 transfèrent les grands efforts (dus aux porte-à-faux) amenés par les bracons
- Afin de rendre compatible la flexion longitudinale de l'ouvrage de franchissement et le contreventement global par les dalles (surtout aux planchers R+3 et R+7) -> Dalles 'diamant' sur plancher collaborant



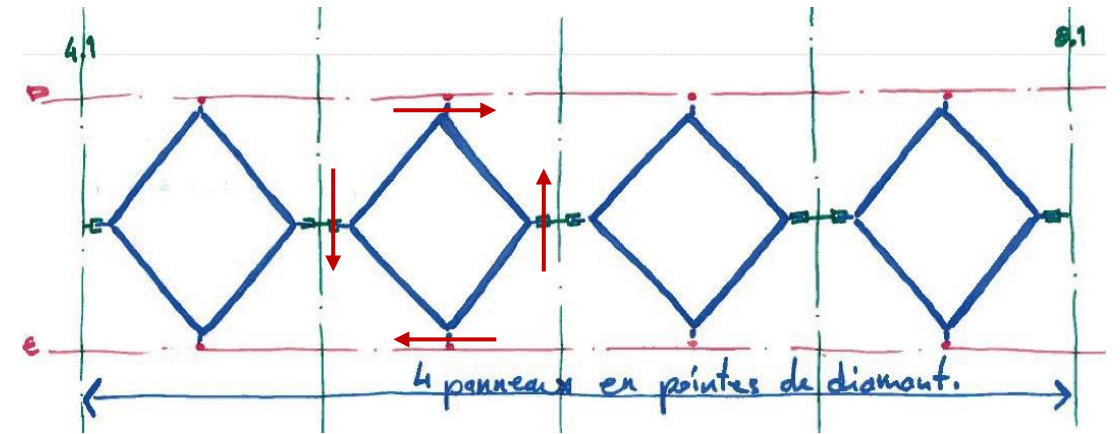
Dalle diamant

- Effet diaphragme
- Pas de participation a flexion verticale
- Libération des assemblages des poutres transversales (solives)

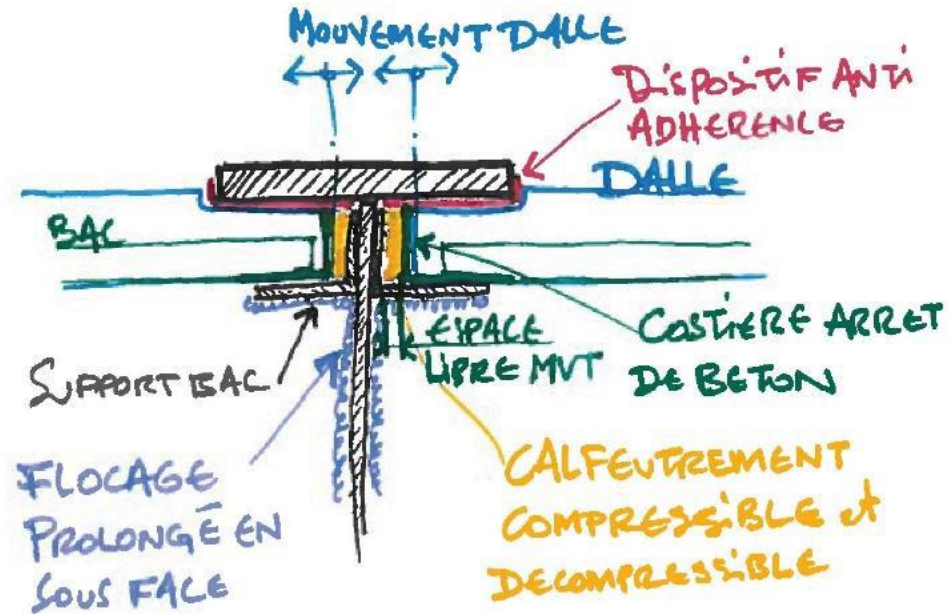


Dalle diamant

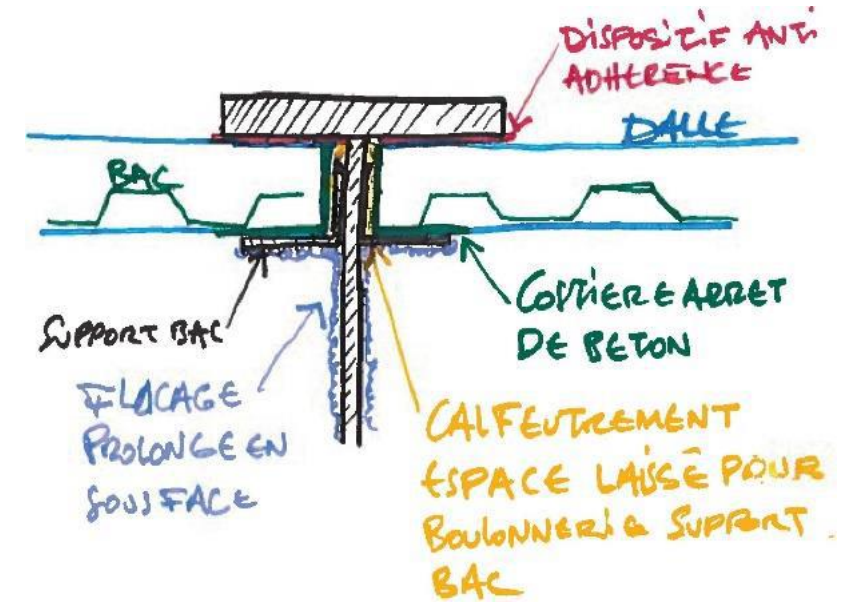
- Connection en un point
- Jeux et calfeutrement Rf compressible
- Dimensionné par BE Eiffage



Connection poutre transversale

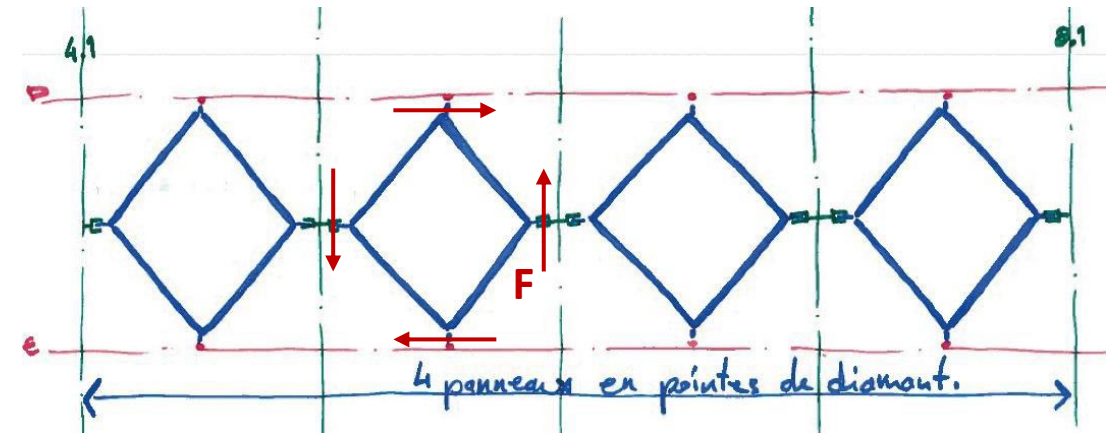


Connection poutre longitudinale

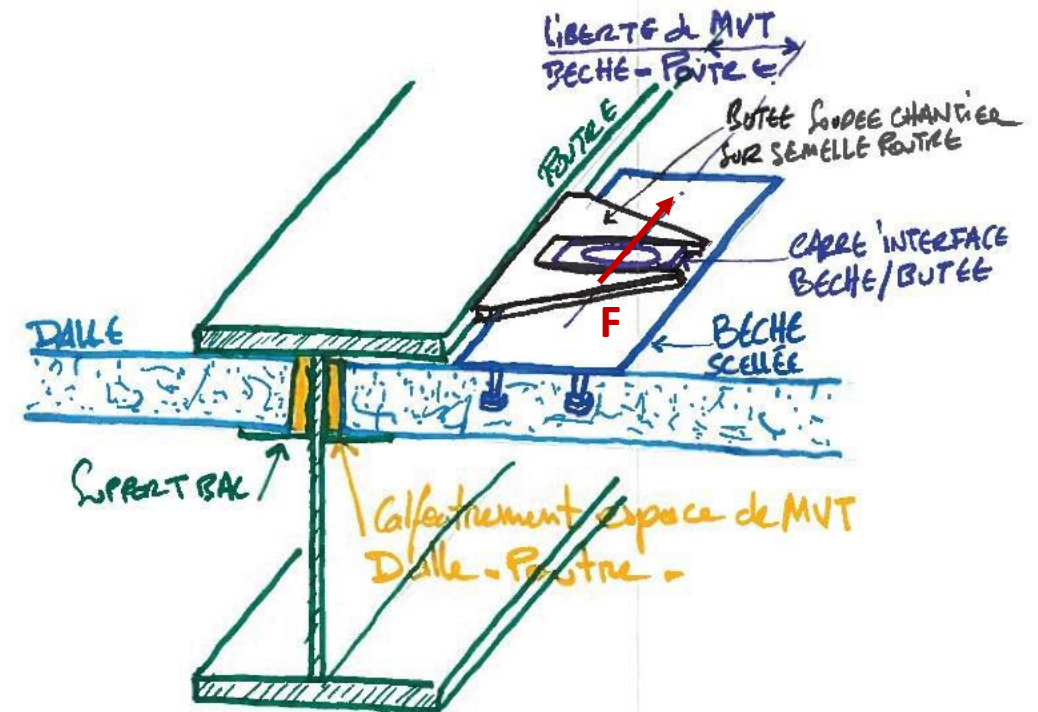


Dalle diamant

- Connection en un point
- Jeux et calfeutrement Rf compressible
- Dimensionné par BE Eiffage



Fmax 300kN



Dalle diamant



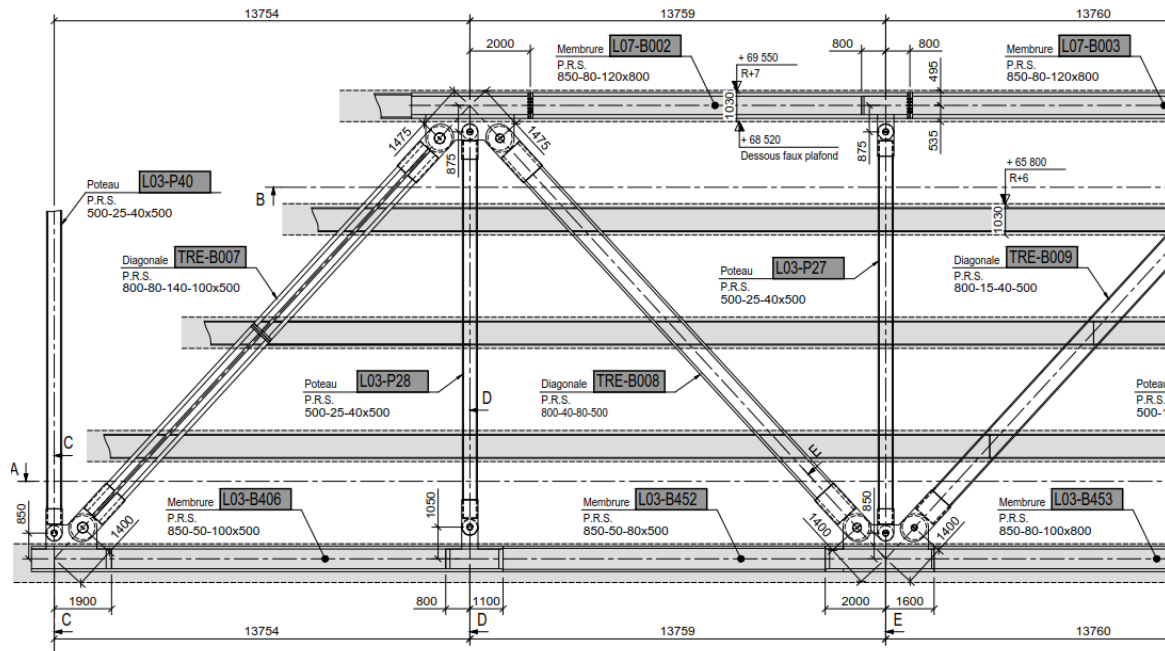
Le Monde

- Présentation
- Missions Greisch
- Tabliers existants
- Montage – Contreflèches
- Comportement global
- **Etudes des noeuds**
- Déverinage



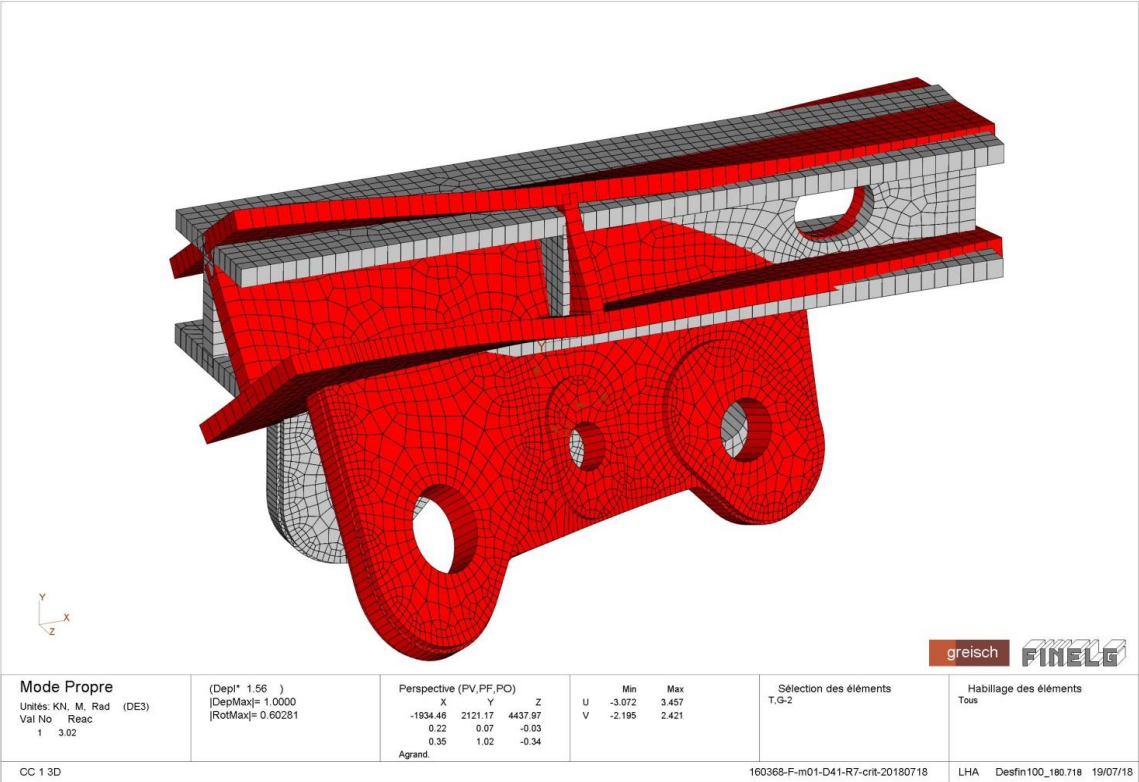
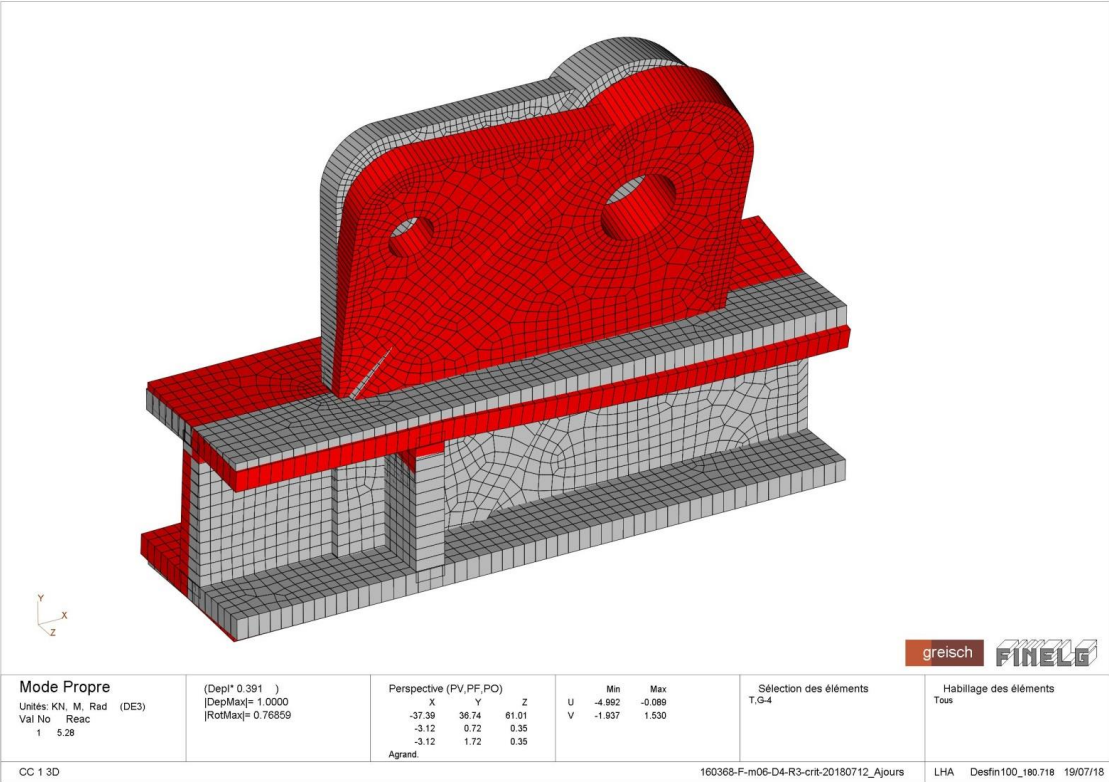
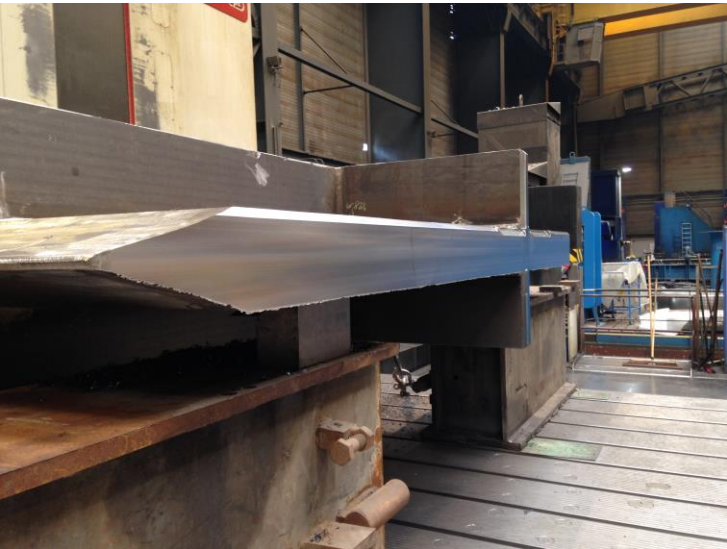
Assemblages par broches

- **Diagonales du treillis (Max 6000To ELU)**
 - **Axes D160 -> D350 (36NiCrMo16 800MPa-1000MPa)**
 - **Epaisseur tôles S460 (40mm -> 140mm)**
 - **Renforts ponctuels (20mm -> 50mm)**
- 



Assemblages par broches

- Usinage au contact pour limiter les gorges de soudures
- Vérification instabilité globale





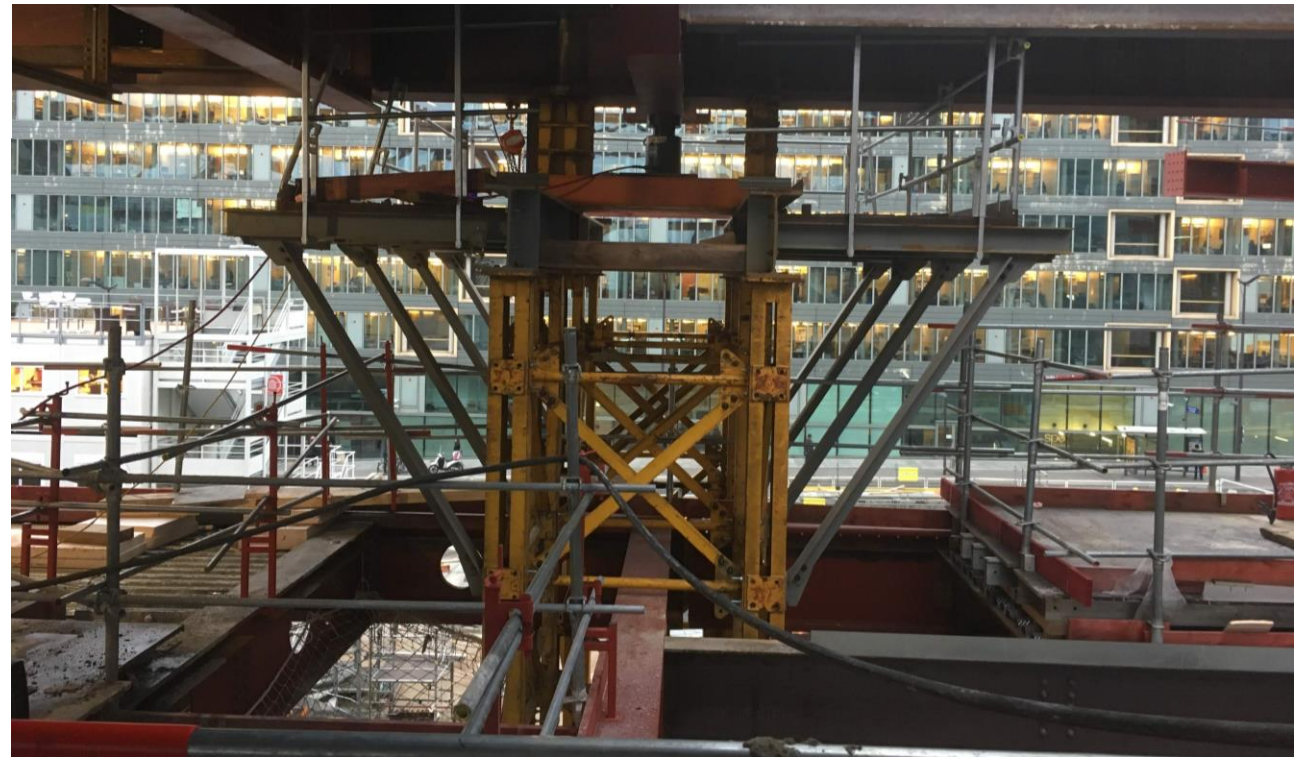
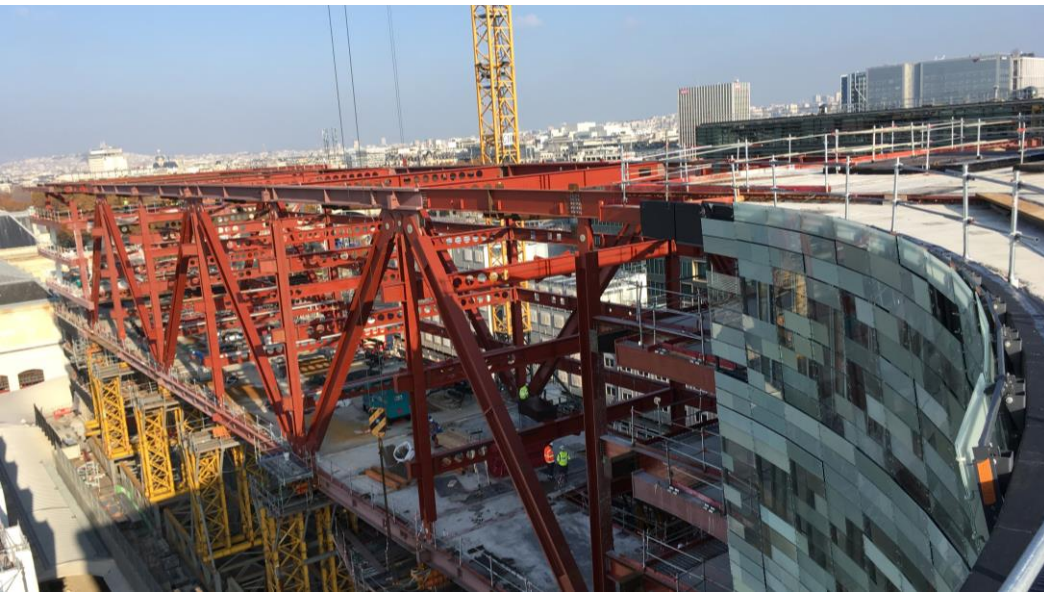
Le Monde

- Présentation
- Missions Greisch
- Tabliers existants
- Montage – Contreflèches
- Comportement global
- Etudes des noeuds
- Déverinage





OPERATION DE DEVERINAGE



SEQUENCE DE DEVERINAGE

Objectif : éviter la surcharge d’une palée dont la capacité est limitée (tablier 2)

14 séquences prévues – Charge totale théorique: 1255 tonnes

Charges

taux de travail max :			88%	88%	71%	92%	66%	93%	95%	94%	95%	92%
effort max :			1500	1768	1494	1654	1126	1164	1528	2077	1804	1151
			D4.1+3	D5.1+3	D6.1+3	D7.1+3	D8.1+3	E4.1+3	E5.1+3	E6.1+3	E7.1+3	E8.1+3
capacité [kN] (max)			1700	2000	2100	1800	1700	1250	1600	2200	1900	1250
Etape	Loc	F cible [kN]	Chargement des palées [kN]									
0	avant déverinage		1108	1748	995	1552	897	945	1407	927	1422	895
1	D5.1+3	600	1446	600	1215	1654	923	952	1421	935	1429	898
2	D7.1+3	600	1500	749	1414	600	1040	955	1431	945	1443	905
3	D4.1+3	0	0	1127	1494	641	1050	960	1439	950	1447	907
4	D6.1+3	0	0	1681	0	965	1126	968	1458	968	1463	914
5	D8.1+3	0	0	1768	0	1151	0	970	1464	975	1472	920
6	D5.1+3	0	0	0	0	1460	0	988	1499	997	1491	927
7	D7.1+3	0	0	0	0	0	0	999	1528	1023	1522	943
8	E5.1+3	900	0	0	0	0	0	1164	900	1188	1609	960
9	E4.1+3	0	0	0	0	0	0	0	1214	1257	1649	967
10	E7.1+3	500	0	0	0	0	0	0	1448	1549	500	1106
11	E5.1+3	0	0	0	0	0	0	0	0	1984	730	1151
12	E8.1+3	0	0	0	0	0	0	0	0	2077	936	0
13	E6.1+3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1804	0
14	E7.1+3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Déformées

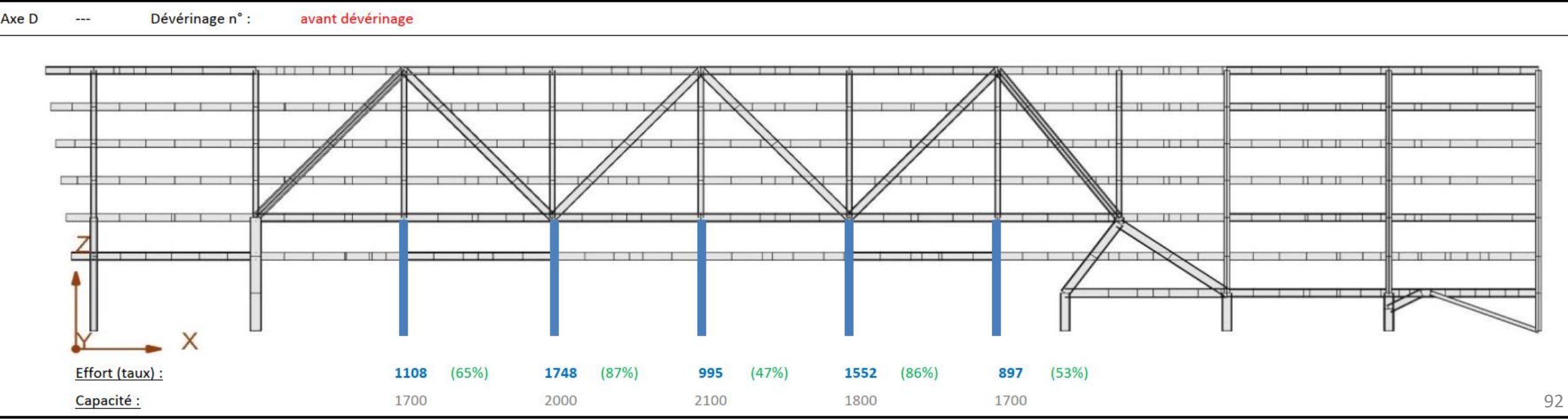
	D4.1+3	D5.1+3	D6.1+3	D7.1+3	D8.1+3	E4.1+3	E5.1+3	E6.1+3	E7.1+3	E8.1+3
Localisation	Déformées par rapport à l'état après déverinage [mm]									
avant déverinage	11	17	21	16	9	15	24	29	23	13
D5.1+3	10	14	20	15	9	15	24	29	23	13
D7.1+3	10	13	19	12	8	15	24	29	23	13
D4.1+3	6	12	18	12	8	15	24	29	23	13
D6.1+3	6	11	12	10	7	15	24	29	23	13
D8.1+3	5	10	11	9	5	15	24	29	23	13
D5.1+3	2	4	7	7	4	15	24	29	23	13
D7.1+3	1	2	3	2	1	15	24	29	23	13
E5.1+3	1	2	3	2	1	14	21	28	22	13
E4.1+3	1	2	2	2	1	10	20	27	22	13
E7.1+3	1	2	2	2	1	9	20	26	18	11
E5.1+3	1	1	2	2	1	6	14	24	16	11
E8.1+3	1	1	2	1	1	6	13	23	15	6
E6.1+3	0	1	1	1	0	3	6	8	10	4
E7.1+3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Charges

taux de travail max : 88% 88% 71% 92% 66% 93% 95% 94% 95% 92%

effort max : 1500 1768 1494 1654 1126 1164 1528 2077 1804 1151

			D4.1+3	D5.1+3	D6.1+3	D7.1+3	D8.1+3	E4.1+3	E5.1+3	E6.1+3	E7.1+3	E8.1+3
capacité [kN] (max)			1700	2000	2100	1800	1700	1250	1600	2200	1900	1250
Etape	Loc	F cible [kN]	Chargement des palées [kN]									
0	avant déverinage		1108	1748	995	1552	897	945	1407	927	1422	895
1	D5.1+3	600	1446	600	1215	1654	923	952	1421	935	1429	898
2	D7.1+3	600	1500	749	1414	600	1040	955	1431	945	1443	905
3	D4.1+3	0	0	1127	1494	641	1050	960	1439	950	1447	907
4	D6.1+3	0	0	1681	0	965	1126	968	1458	968	1463	914
5	D8.1+3	0	0	1768	0	1151	0	970	1464	975	1472	920
6	D5.1+3	0	0	0	0	1460	0	988	1499	997	1491	927
7	D7.1+3	0	0	0	0	0	0	999	1528	1023	1522	943



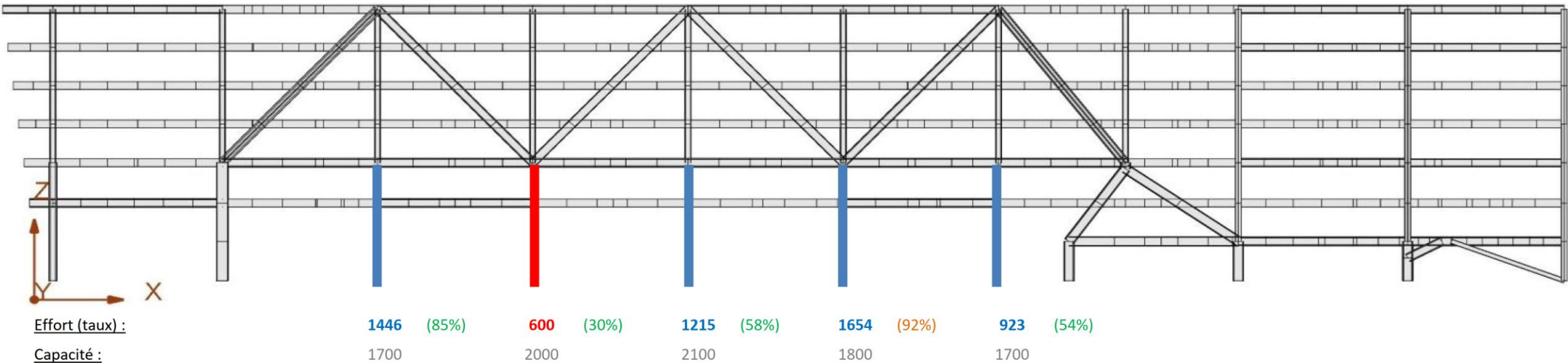
Charges

taux de travail max : 88% 88% 71% 92% 66% 93% 95% 94% 95% 92%

effort max : 1500 1768 1494 1654 1126 1164 1528 2077 1804 1151

			D4.1+3	D5.1+3	D6.1+3	D7.1+3	D8.1+3	E4.1+3	E5.1+3	E6.1+3	E7.1+3	E8.1+3
capacité [kN] (max)			1700	2000	2100	1800	1700	1250	1600	2200	1900	1250
Etape	Loc	F cible [kN]	Chargement des palées [kN]									
0	avant déverinage		1108	1748	995	1552	897	945	1407	927	1422	895
1	D5.1+3	600	1446	600	1215	1654	923	952	1421	935	1429	898
2	D7.1+3	600	1500	749	1414	600	1040	955	1431	945	1443	905
3	D4.1+3	0	0	1127	1494	641	1050	960	1439	950	1447	907
4	D6.1+3	0	0	1681	0	965	1126	968	1458	968	1463	914
5	D8.1+3	0	0	1768	0	1151	0	970	1464	975	1472	920
6	D5.1+3	0	0	0	0	1460	0	988	1499	997	1491	927
7	D7.1+3	0	0	0	0	0	0	999	1528	1023	1522	943

Axe D --- Déverinage n° : 1 Cible : 600 kN sur D5.1+3



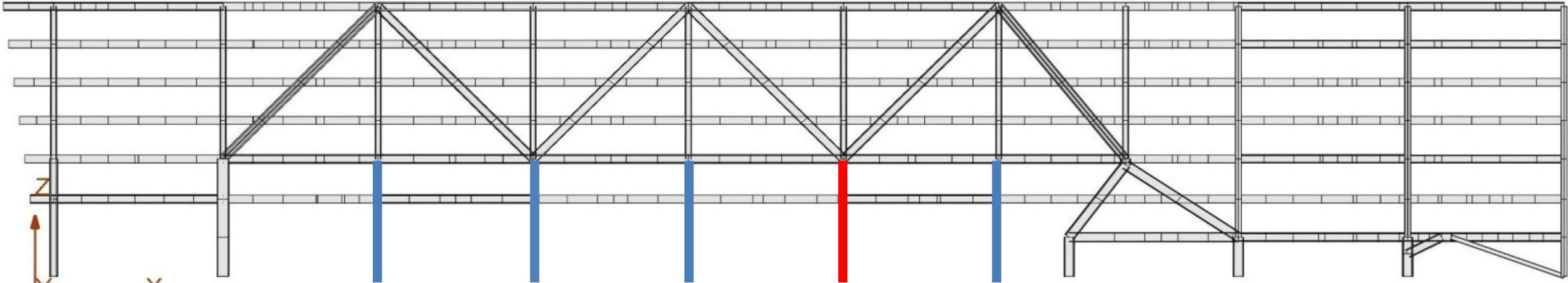
Charges

taux de travail max : 88% 88% 71% 92% 66% 93% 95% 94% 95% 92%

effort max : 1500 1768 1494 1654 1126 1164 1528 2077 1804 1151

			D4.1+3	D5.1+3	D6.1+3	D7.1+3	D8.1+3	E4.1+3	E5.1+3	E6.1+3	E7.1+3	E8.1+3
capacité [kN] (max)			1700	2000	2100	1800	1700	1250	1600	2200	1900	1250
Etape	Loc	F cible [kN]	Chargement des palées [kN]									
0	avant déverinage		1108	1748	995	1552	897	945	1407	927	1422	895
1	D5.1+3	600	1446	600	1215	1654	923	952	1421	935	1429	898
2	D7.1+3	600	1500	749	1414	600	1040	955	1431	945	1443	905
3	D4.1+3	0	0	1127	1494	641	1050	960	1439	950	1447	907
4	D6.1+3	0	0	1681	0	965	1126	968	1458	968	1463	914
5	D8.1+3	0	0	1768	0	1151	0	970	1464	975	1472	920
6	D5.1+3	0	0	0	0	1460	0	988	1499	997	1491	927
7	D7.1+3	0	0	0	0	0	0	999	1528	1023	1522	943

Axe D --- Déverinage n° : 2 Cible : 600 kN sur D7.1+3



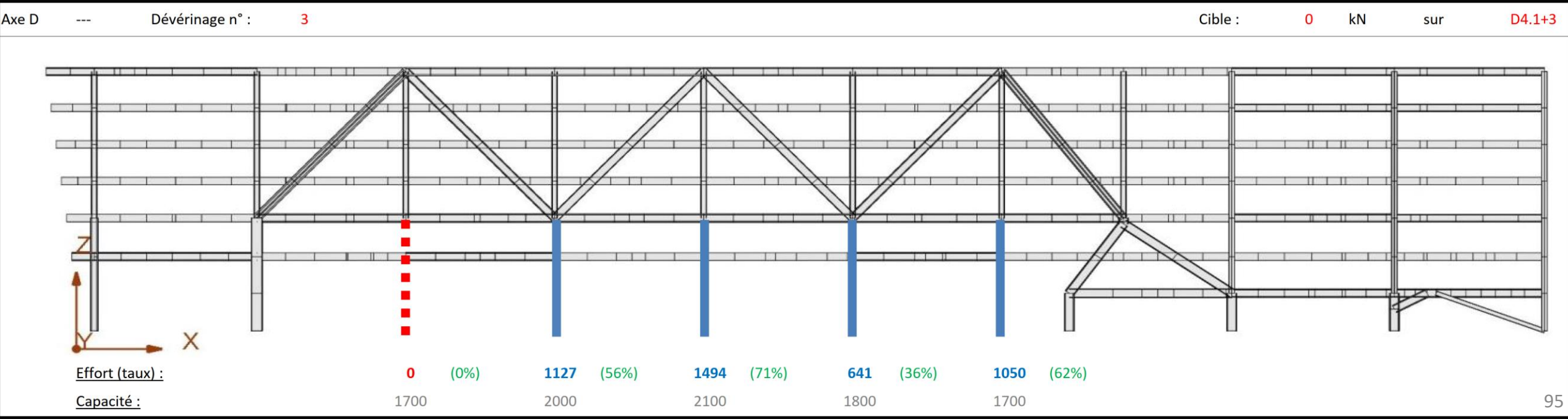
Effort (taux) :	1500	(88%)	749	(37%)	1414	(67%)	600	(33%)	1040	(61%)
Capacité :	1700		2000		2100		1800		1700	

Charges

taux de travail max : 88% 88% 71% 92% 66% 93% 95% 94% 95% 92%

effort max : 1500 1768 1494 1654 1126 1164 1528 2077 1804 1151

			D4.1+3	D5.1+3	D6.1+3	D7.1+3	D8.1+3	E4.1+3	E5.1+3	E6.1+3	E7.1+3	E8.1+3
capacité [kN] (max)			1700	2000	2100	1800	1700	1250	1600	2200	1900	1250
Etape	Loc	F cible [kN]	Chargement des palées [kN]									
0	avant déverinage		1108	1748	995	1552	897	945	1407	927	1422	895
1	D5.1+3	600	1446	600	1215	1654	923	952	1421	935	1429	898
2	D7.1+3	600	1500	749	1414	600	1040	955	1431	945	1443	905
3	D4.1+3	0	0	1127	1494	641	1050	960	1439	950	1447	907
4	D6.1+3	0	0	1681	0	965	1126	968	1458	968	1463	914
5	D8.1+3	0	0	1768	0	1151	0	970	1464	975	1472	920
6	D5.1+3	0	0	0	0	1460	0	988	1499	997	1491	927
7	D7.1+3	0	0	0	0	0	0	999	1528	1023	1522	943

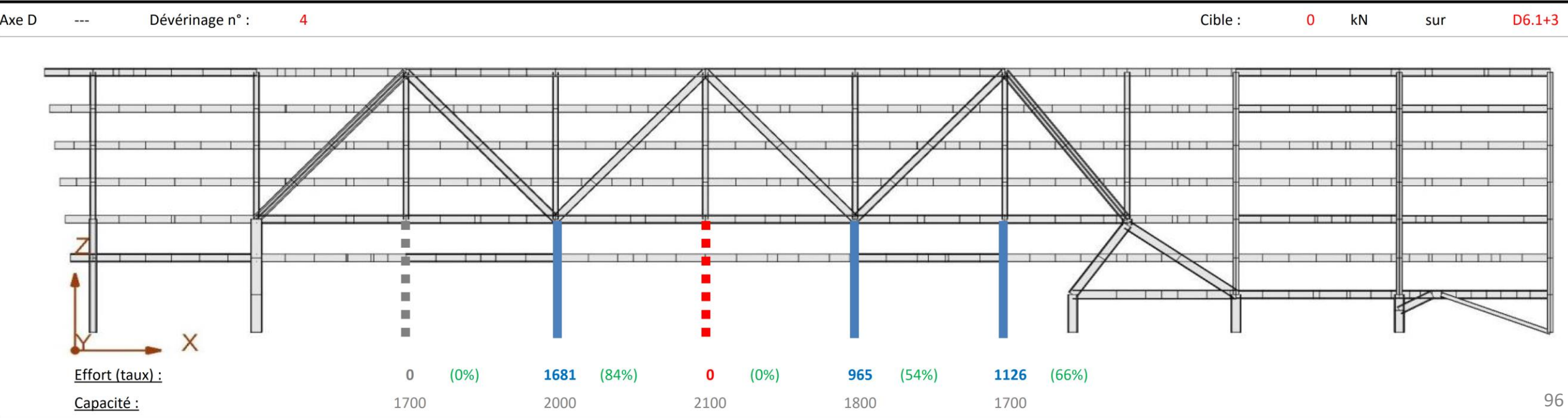


Charges

taux de travail max : 88% 88% 71% 92% 66% 93% 95% 94% 95% 92%

effort max : 1500 1768 1494 1654 1126 1164 1528 2077 1804 1151

			D4.1+3	D5.1+3	D6.1+3	D7.1+3	D8.1+3	E4.1+3	E5.1+3	E6.1+3	E7.1+3	E8.1+3
capacité [kN] (max)			1700	2000	2100	1800	1700	1250	1600	2200	1900	1250
Etape	Loc	F cible [kN]	Chargement des palées [kN]									
0	avant déverinage		1108	1748	995	1552	897	945	1407	927	1422	895
1	D5.1+3	600	1446	600	1215	1654	923	952	1421	935	1429	898
2	D7.1+3	600	1500	749	1414	600	1040	955	1431	945	1443	905
3	D4.1+3	0	0	1127	1494	641	1050	960	1439	950	1447	907
4	D6.1+3	0	0	1681	0	965	1126	968	1458	968	1463	914
5	D8.1+3	0	0	1768	0	1151	0	970	1464	975	1472	920
6	D5.1+3	0	0	0	0	1460	0	988	1499	997	1491	927
7	D7.1+3	0	0	0	0	0	0	999	1528	1023	1522	943



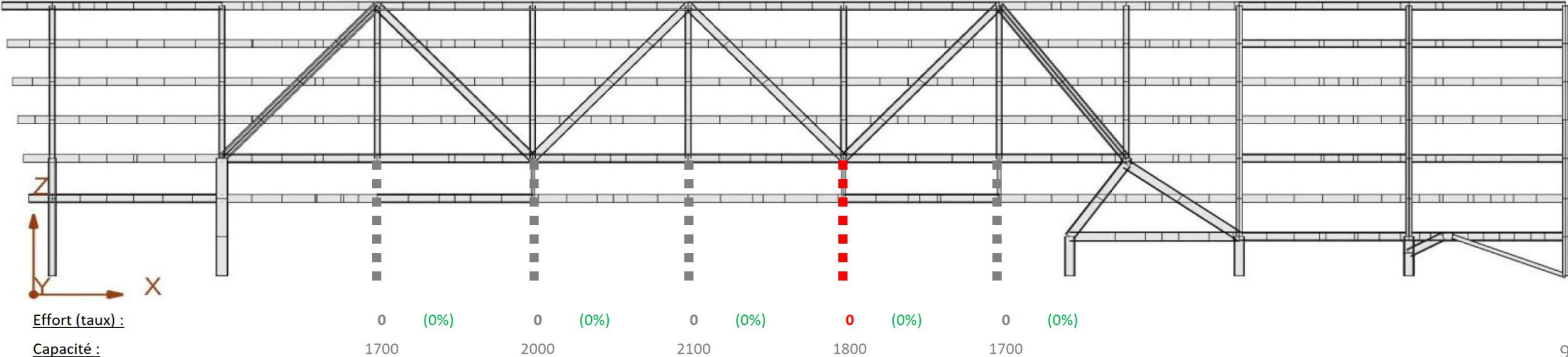
Charges

taux de travail max : 88% 88% 71% 92% 66% 93% 95% 94% 95% 92%

effort max : 1500 1768 1494 1654 1126 1164 1528 2077 1804 1151

			D4.1+3	D5.1+3	D6.1+3	D7.1+3	D8.1+3	E4.1+3	E5.1+3	E6.1+3	E7.1+3	E8.1+3
capacité [kN] (max)			1700	2000	2100	1800	1700	1250	1600	2200	1900	1250
Etape	Loc	F cible [kN]	Chargement des palées [kN]									
0	avant déverinage		1108	1748	995	1552	897	945	1407	927	1422	895
1	D5.1+3	600	1446	600	1215	1654	923	952	1421	935	1429	898
2	D7.1+3	600	1500	749	1414	600	1040	955	1431	945	1443	905
3	D4.1+3	0	0	1127	1494	641	1050	960	1439	950	1447	907
4	D6.1+3	0	0	1681	0	965	1126	968	1458	968	1463	914
5	D8.1+3	0	0	1768	0	1151	0	970	1464	975	1472	920
6	D5.1+3	0	0	0	0	1460	0	988	1499	997	1491	927
7	D7.1+3	0	0	0	0	0	0	999	1528	1023	1522	943

Axe D --- Déverinage n° : 7 Cible : 0 kN sur D7.1+3



Charges																
		taux de travail max :			117%	111%	102%	90%	95%	122%	95%	65%	103%	109%		
		effort max :			1985	2214	2134	1622	1619	1522	1525	1430	1949	1368		
		capacité max des palées [kN] :			1700	2000	2100	1800	1700	1250	1600	2200	1900	1250		
					Chargement des palées [kN]											
	Etape	Palée déverinée	Chargement cible [bar]	Chargement cible [kN]	PN	D4.1+3	D5.1+3	D6.1+3	D7.1+3	D8.1+3	E4.1+3	E5.1+3	E6.1+3	E7.1+3	E8.1+3	PS
	0	avant déverinage (prise en charge)			0	1985	1949	1471	1360	1471	1103	1471	588	1397	1103	0
Diminution charges file D	1	D4.1+3	250	919	649	919	2214	1526	1389	1477	1109	1479	593	1401	1105	25
	2	D5.1+3	250	919	988	1294	919	1771	1503	1507	1124	1501	604	1410	1108	147
	3	D7.1+3	250	919	1019	1323	1001	1881	919	1571	1127	1507	610	1418	1112	385
	4	D6.1+3	250	919	1084	1427	1326	919	1123	1619	1134	1521	623	1429	1118	542
	5	D8.1+3	250	919	1089	1439	1360	961	1228	919	1136	1525	626	1435	1121	1021
Déverinage file E	6	E5.1+3	0	0	1438	1457	1393	977	1241	924	1522	0	1020	1643	1161	1060
	7	E4.1+3	0	0	2465	1477	1426	991	1250	928	0	0	1222	1753	1180	1089
	8	E7.1+3	300	1103	2527	1484	1439	1000	1262	933	0	0	1430	1103	1265	1331
	9	E6.1+3	0	0	2924	1513	1488	1032	1290	944	0	0	0	1664	1368	1519
	10	E8.1+3	0	0	2987	1522	1503	1046	1310	952	0	0	0	1949	0	2456
	11	E7.1+3	0	0	3429	1565	1577	1100	1372	977	0	0	0	0	0	3656
Déverinage file D	12	D4.1+3	0	0	4401	0	1968	1183	1415	987	0	0	0	0	0	3705
	13	D5.1+3	0	0	5390	0	0	1620	1622	1041	0	0	0	0	0	3960
	14	D7.1+3	0	0	5685	0	0	1995	0	1231	0	0	0	0	0	4710
	15	D8.1+3	0	0	5790	0	0	2134	0	0	0	0	0	0	0	5688
	16	D6.1+3	0	0	6792	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6765

THEORIE VS PRATIQUE

VENDREDI

mise en charge des vérins

⇒ Palée D4.1+3 déjà à 117% de taux de travail

⇒ Charge totale mesurée 1390 tonnes
⇒ (Théorique +10%)

Charges																
taux de travail max :			117%	111%	102%	90%	95%	122%	95%	65%	103%	109%				
effort max :			1985	2214	2134	1622	1619	1522	1525	1430	1949	1368				
capacité max des palées [kN] :			1700	2000	2100	1800	1700	1250	1600	2200	1900	1250				
			Chargement des palées [kN]													
	Etape	Palée déverinée	Chargement cible [bar]	Chargement cible [kN]	PN	D4.1+3	D5.1+3	D6.1+3	D7.1+3	D8.1+3	E4.1+3	E5.1+3	E6.1+3	E7.1+3	E8.1+3	PS
	0	avant déverinage (prise en charge)			0	1985	1949	1471	1360	1471	1103	1471	588	1397	1103	0
Diminution charges file D	1	D4.1+3	250	919	649	919	2214	1526	1389	1477	1109	1479	593	1401	1105	25
	2	D5.1+3	250	919	988	1294	919	1771	1503	1507	1124	1501	604	1410	1108	147
	3	D7.1+3	250	919	1019	1323	1001	1881	919	1571	1127	1507	610	1418	1112	385
	4	D6.1+3	250	919	1084	1427	1326	919	1123	1619	1134	1521	623	1429	1118	542
	5	D8.1+3	250	919	1089	1439	1360	961	1228	919	1136	1525	626	1435	1121	1021
Déverinage file E	6	E5.1+3	0	0	1438	1457	1393	977	1241	924	1522	0	1020	1643	1161	1060
	7	E4.1+3	0	0	2465	1477	1426	991	1250	928	0	0	1222	1753	1180	1089
	8	E7.1+3	300	1103	2527	1484	1439	1000	1262	933	0	0	1430	1103	1265	1331
	9	E6.1+3	0	0	2924	1513	1488	1032	1290	944	0	0	0	1664	1368	1519
	10	E8.1+3	0	0	2987	1522	1503	1046	1310	952	0	0	0	1949	0	2456
	11	E7.1+3	0	0	3429	1565	1577	1100	1372	977	0	0	0	0	0	3656
Déverinage file D	12	D4.1+3	0	0	4401	0	1968	1183	1415	987	0	0	0	0	0	3705
	13	D5.1+3	0	0	5390	0	0	1620	1622	1041	0	0	0	0	0	3960
	14	D7.1+3	0	0	5685	0	0	1995	0	1231	0	0	0	0	0	4710
	15	D8.1+3	0	0	5790	0	0	2134	0	0	0	0	0	0	0	5688
	16	D6.1+3	0	0	6792	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6765

THEORIE VS PRATIQUE

VENREDI

mise en charge des vérins

⇒ Palée D4.1+3 déjà à 117% de taux de travail

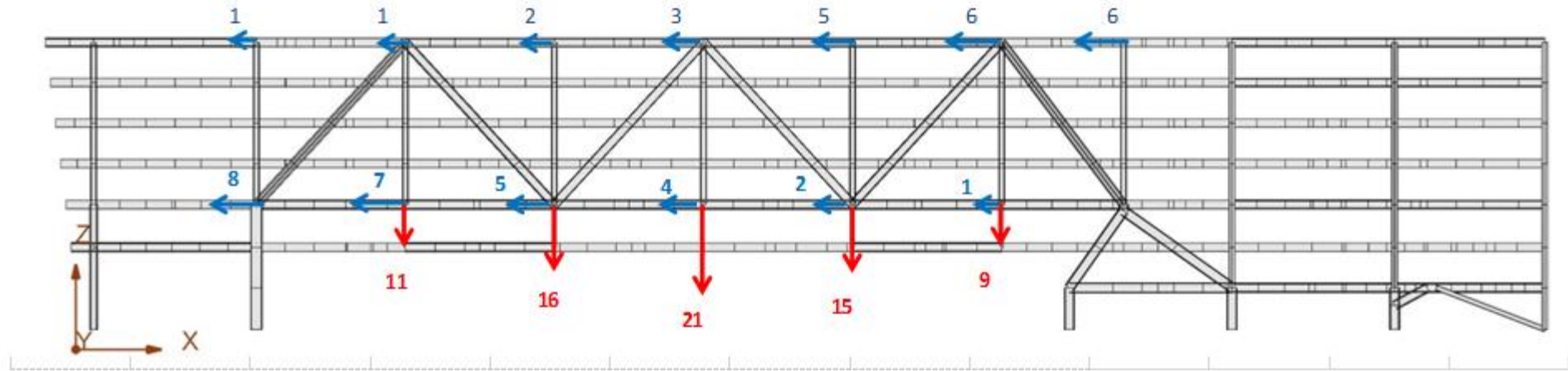
NUIT VE-SA

⇒ Adaptation de la procédure sur base des mesures

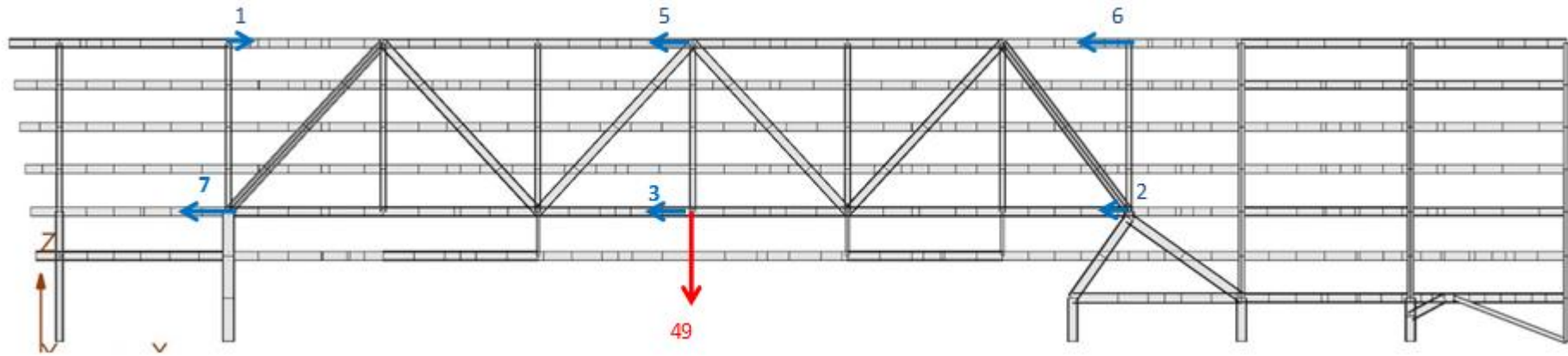
SAMEDI

⇒ Déverinage et adaptation en live

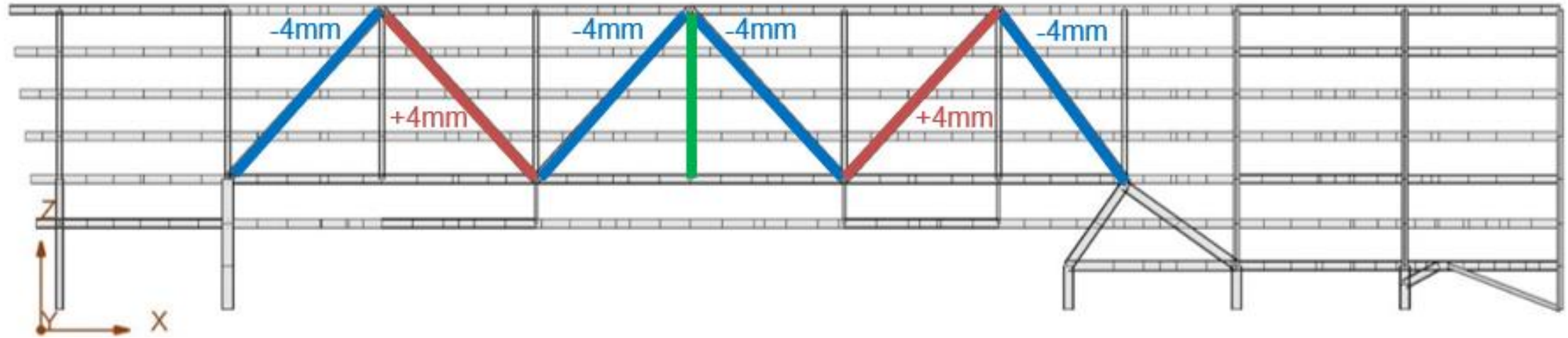
Déplacements - Valeurs théoriques (modèle)



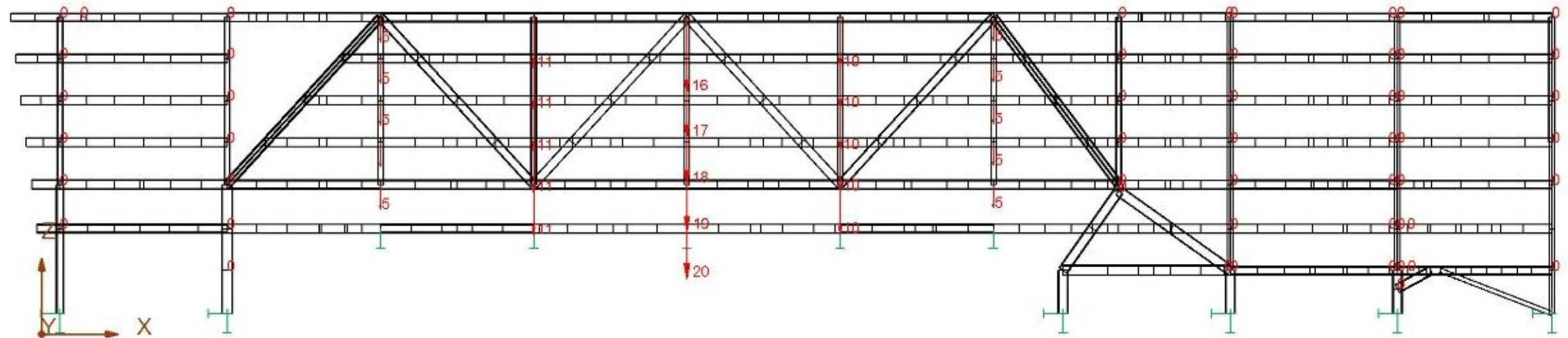
Déplacements - Mesures sur chantier



Explication : jeux des axes $D_0 = D + 2\text{mm}$



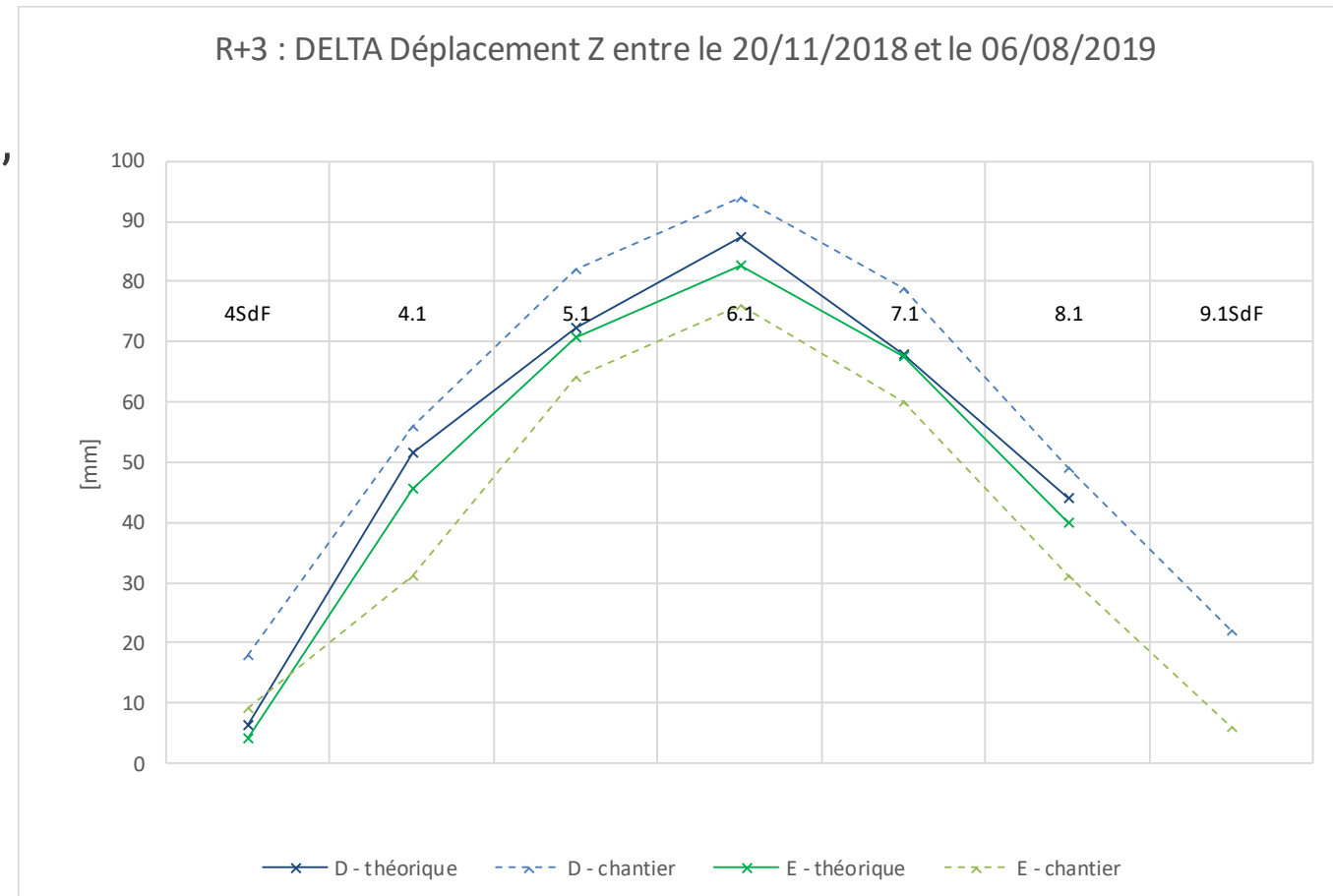
Résultat modélisation jeux des axes via ΔT°

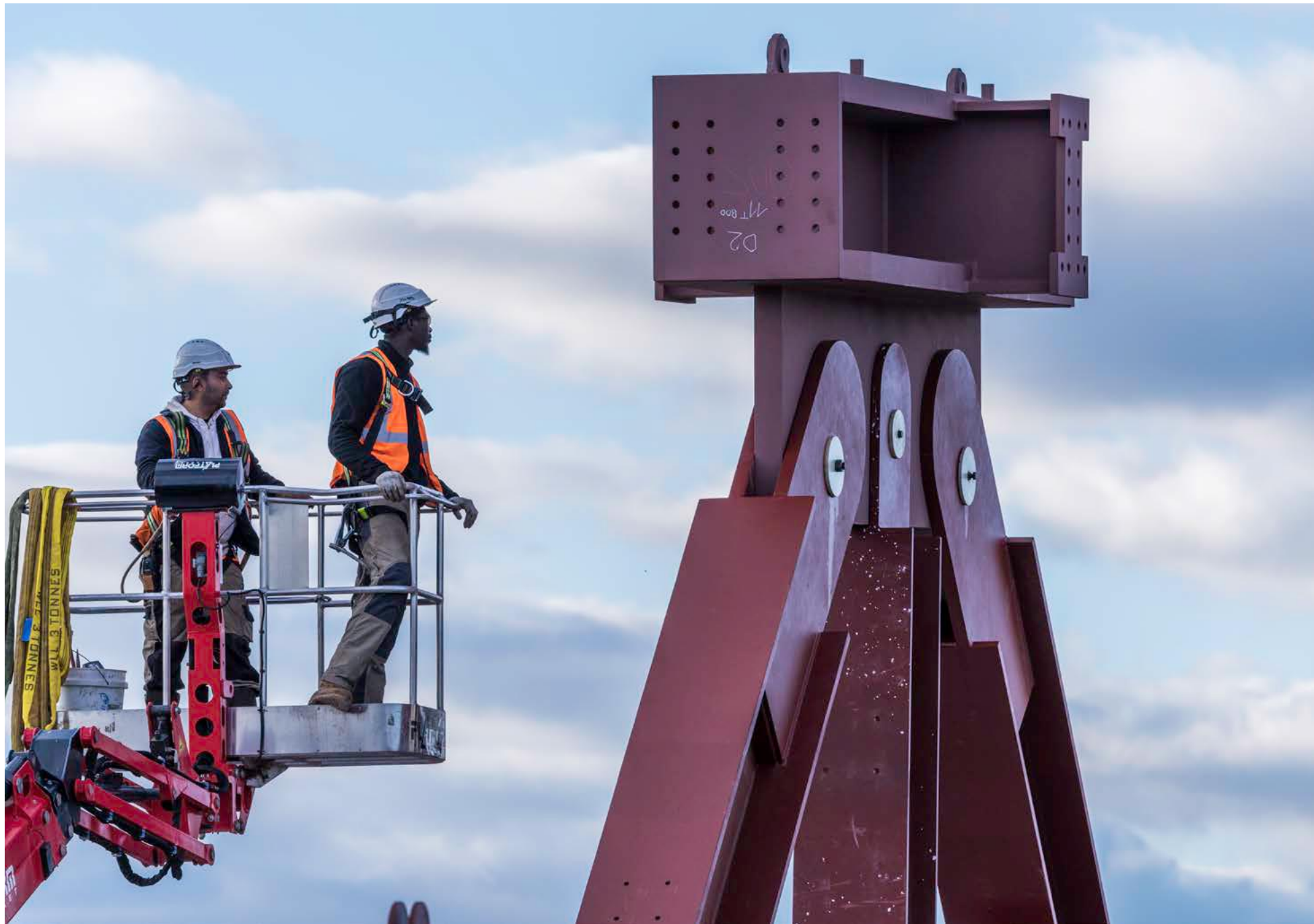


La flèche complémentaire due aux jeux des axes est négligeable et non problématique.
En effet, ces 20mm de déformée supplémentaire ne représentent que $1/4000^{\text{ème}}$ de la portée (80m).

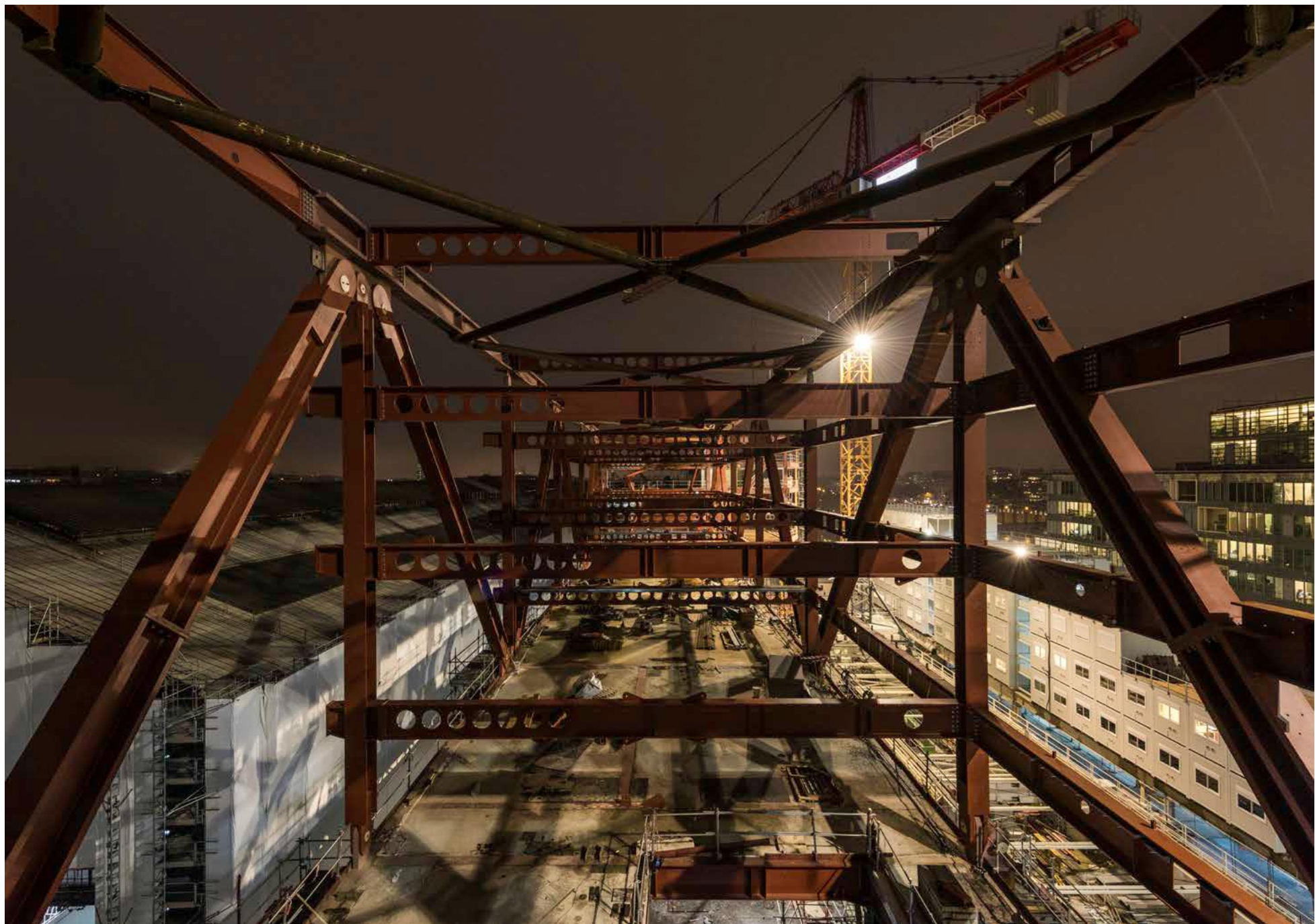
Evolution déformées chantier

- **relevés du 20/11/2018** : juste après de déverinage
- **relevés du 06/08/2019** : le gros œuvre est fini et les finitions bien avancées
- **Estimation charges:**
G + 75% G' (recharge planchers, façade, toiture, arche)
- **Corrélation à 90%**



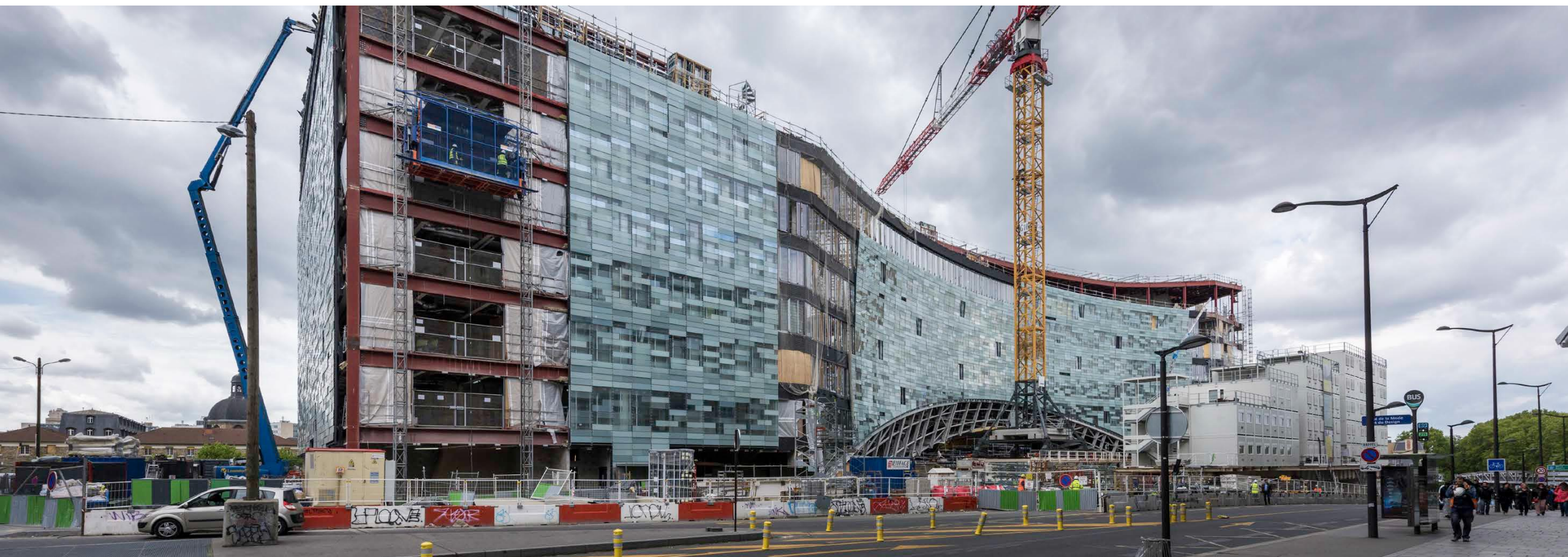


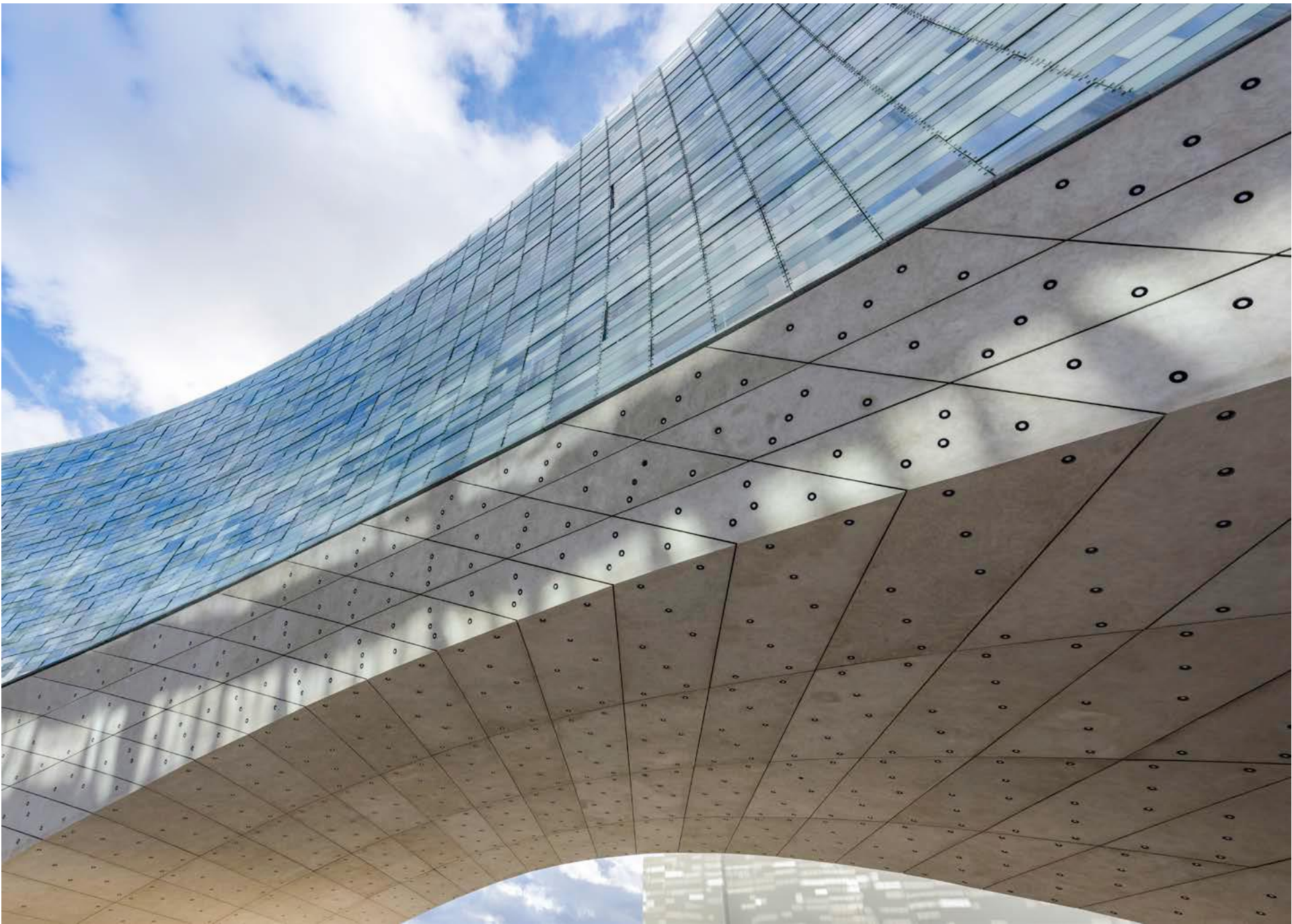






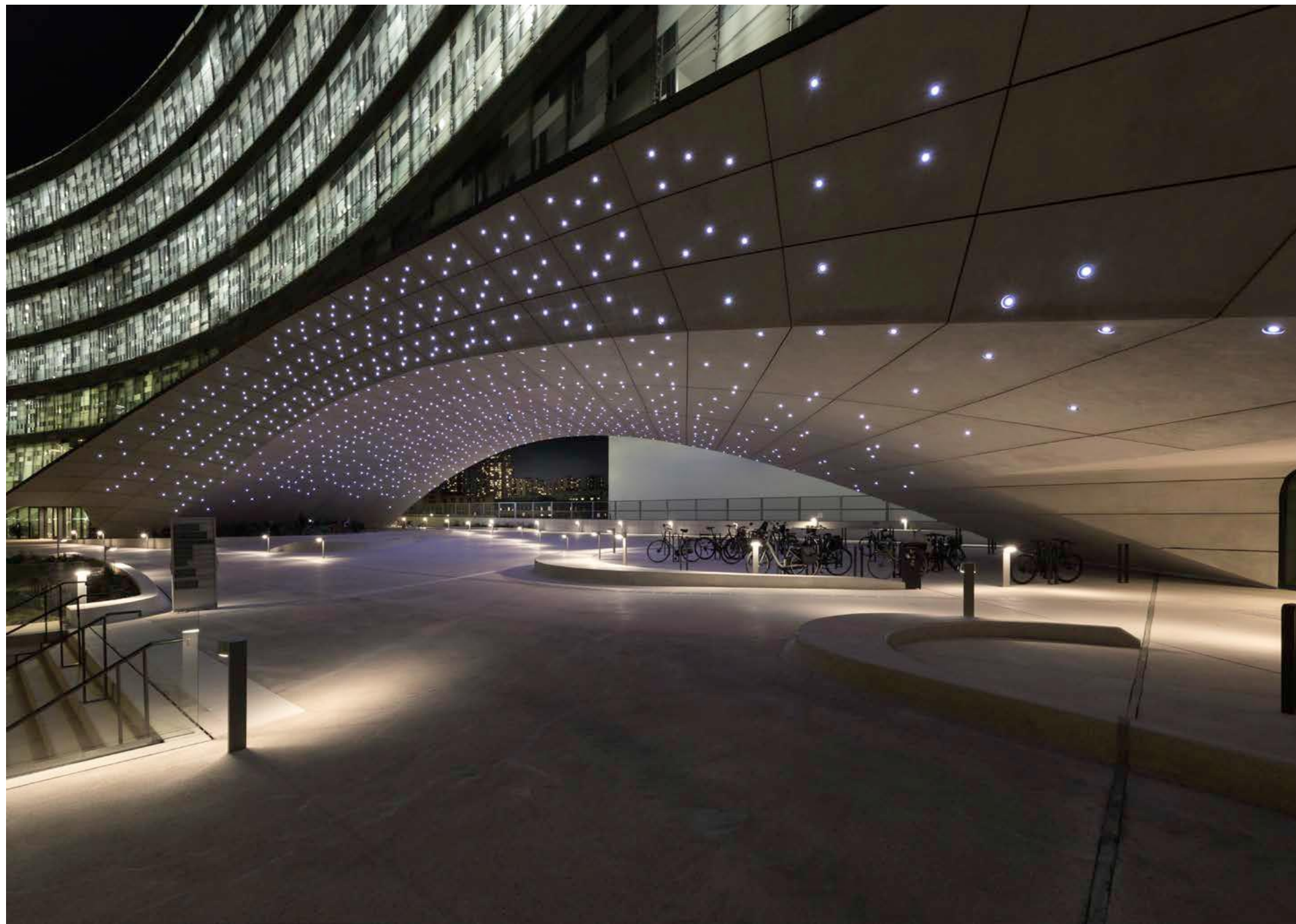


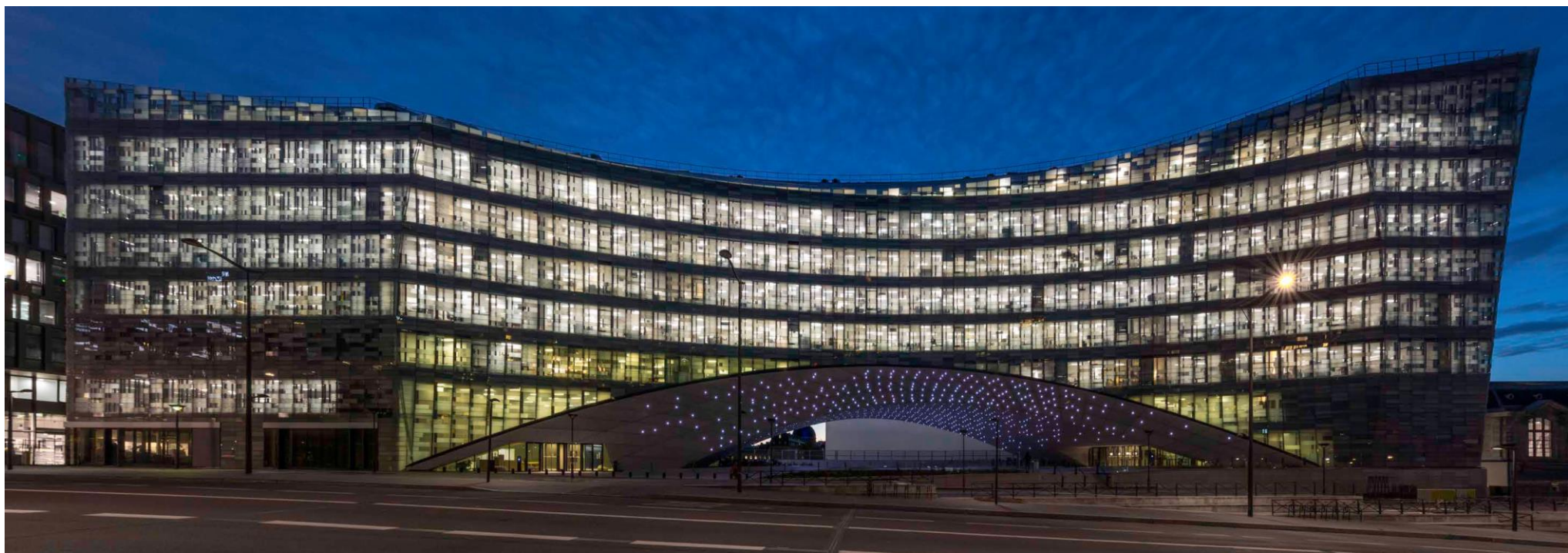












greisch

Le Monde

Paris, XIII^e



Sébastien Seret
sseret@greisch.com



354^e Conférence du CERES – 22 novembre 2022

