

# BIBLIOTHEQUE NATIONALE DE FRANCE

**MISSION DE MAITRISE D'OEUVRE POUR LES TRAVAUX DE MISE EN SECURITE DU JARDIN CENTRAL ET DES PASSERELLES INTERIEURES DU SITE FRANCOIS MITTERRAND**



**INGENIERIE**

20, rue Lortet 69007 Lyon

**explorations  
architecture**

1bis, cité Paradis 75010 Paris



DIAGNOSTIC pour les travaux de mise en sécurité du jardin central et des passerelles intérieures du site François Mitterrand de la BNF.

# 1 Table des matières

1	Présentation du projet :.....	3
2	Rappel des objectifs de la mission :.....	6
3.	Etude et analyse de l'existant et DOE :.....	7
3.1	Les archives de la BNF, les DOE :.....	7
3.2	Résultats d'analyse des DOE :.....	10
3.3	Sondages et/ou démontages de l'existant : .....	16
4.	Solutions de sécurisation du jardin central .....	27
4.1	Hypothèses de charges considérées pour le projet.....	27
4.2	Vérification des capacités de l'ancrage existant :.....	28
4.4	Rappel et critique solution DPA/ARCORA – Scénario 1 :.....	32
4.5	Principe développé par AIA/EA :.....	35
4.6	Conformité à la réglementation des garde-corps NF P01-012 de juillet 1988 :.....	42
4.7	Synthèse des différentes solutions .....	43
4.8	Prédimensionnement des solutions proposées pour le projet.....	44
5	Solution de sécurisation des passerelles intérieures :.....	48
5.1.	Rappel et critique solution DPA/ARCORA – Scénario 2 :.....	48
5.2.	Sécurisation passerelle intérieure préconisée par AIA/AE.....	53
6.	Approche économique des travaux :.....	57
6.1	Prestation 1 – sécurisation du jardin central .....	57
6.2	Prestation 2 – sécurisation des passerelles cathédrales.....	59
6.3	Bilan de l'approche économique :.....	60
7.	Rendu 3D : .....	61
7.1	Scénario 1 : proposition DPA/ARCORA pour sécurisation garde-corps jardin central : .....	61
7.2	Scénario 1-A : proposition AIA Ingénierie/EA pour sécurisation garde-corps jardin central : vitrage de +2,50m de haut devant le GC actuel. ....	62
7.3	Scénario 1-B : proposition AIA Ingénierie/EA pour sécurisation garde-corps jardin central : vitrage de +2.50m en biais dans GC actuel. ....	65
7.4	Scénario 1-C : proposition AIA Ingénierie/EA pour sécurisation garde-corps jardin central : vitrage de +3,40m de haut dans l'axe GC actuel. ....	67
7.5	Scénario 2 : proposition DPA/ARCORA pour sécurisation passerelles intérieures :.....	69
7.6	Scénario 2-A : proposition AIA Ingénierie/EA pour sécurisation passerelles intérieures : ..	70
8	Annexes : .....	71

# 1 Présentation du projet :

Le marché passé à AIA Ingénierie et Explorations Architecture par la Bibliothèque Nationale de France (BNF) a pour objet la maîtrise d'œuvre de travaux de sécurisation anti-suicide du site François Mitterrand de la Bibliothèque Nationale de France à Paris 13ème.

Ce site conçu par Dominique Perrault est un des grands projets lancés par François Mitterrand. Il est caractérisé par quatre grandes tours en forme de livre ouvert qui bornent un immense parvis en bois avec un jardin en contre-bas. Cette grande esplanade où se retrouvent et déambulent de nombreuses personnes est un cadre idéal pour la rencontre et l'échange.

Ce projet sera une valeur sûre d'exemplarité avec de multiples enjeux concernant la sécurisation des autres institutions parisiennes :

- **Enjeux patrimoniaux**, car cet édifice conçu par Dominique Perrault qui a les droits d'auteur, doit avoir sa validation pour toutes modifications significatives à apporter aux bâtiments d'autant s'ils sont visibles (architecturaux). Les études architecturales devront avoir l'accord définitif de Dominique Perrault dans le cadre d'un permis de construire qu'il contresignera.
- **Enjeux stratégiques**, car la BNF est frappée par un problème majeur de santé publique comme d'autres grands bâtiments publics ou infrastructures emblématiques, qui attirent malheureusement des personnes voulant se suicider.
- **Enjeux opérationnels**, par une mise en œuvre à court terme pour que le parvis retrouve un aspect sûr et « pacifié » car actuellement il est sécurisé par des barrières de chantier autour de la trémie du jardin. Cet enjeu sera aussi à dérouler « en site occupé » avec un impact maîtrisé pour l'exploitation du bâtiment et la sécurité des personnes.
- **Enjeux architecturaux**, car l'ensemble doit s'inscrire avec élégance et précision dans les aménagements existants (cas des passerelles intérieures) : limiter les modifications visibles sur les garde-corps existants et conserver une bonne transparence en limitant les reflets ou d'une couleur neutre dans le cas de vitrage très épais (cas des garde-corps du jardin central).
- **Enjeux biodiversité**, en proposant un traitement pour empêcher que des oiseaux percutent les vitrages des nouveaux garde-corps du jardin central.
- **Enjeux exploitation et maintenance**, car des accès pour la maintenance (nettoyage) et pour les secours seront à créer tout en s'inscrivant parfaitement dans l'aspect architectural.
- **Enjeux techniques**, car pour chaque solution retenue, il va falloir concilier et s'adapter à l'existant tout en reprenant des efforts bien plus considérables du fait de la grande hauteur des nouveaux garde-corps, de plus il faudra minimiser les impacts ou les reprises sur les étanchéités existantes. Permettre l'exploitation du plancher bois pour visite des étanchéités ou autres au droit des nouveaux garde-corps.

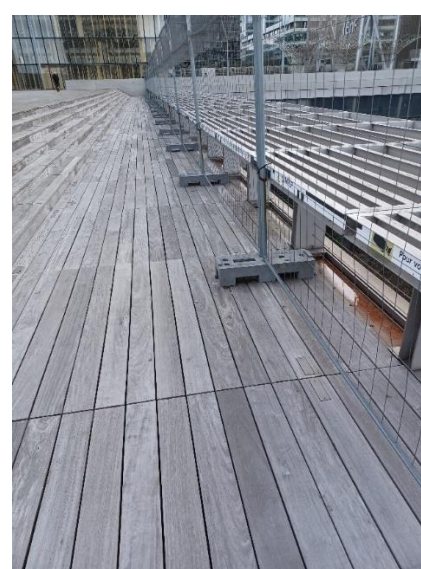
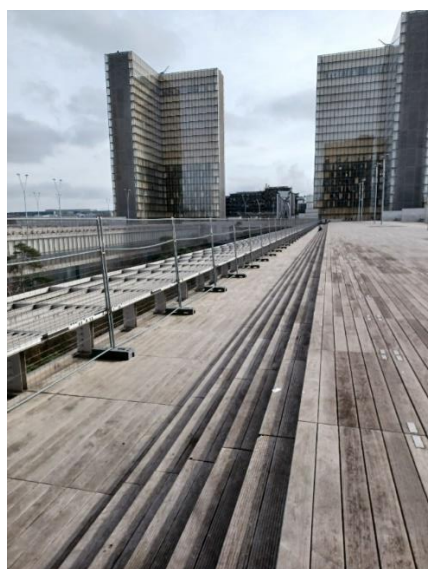
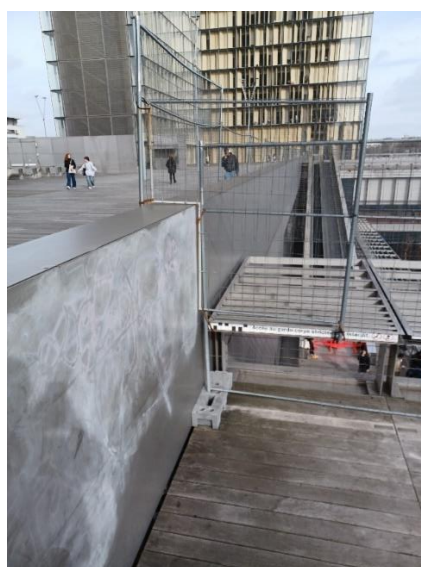
Ce projet doit proposer des solutions à la fois efficaces, maîtrisées et respectueuses de l'architecture des lieux.

Il est décomposé en deux prestations :

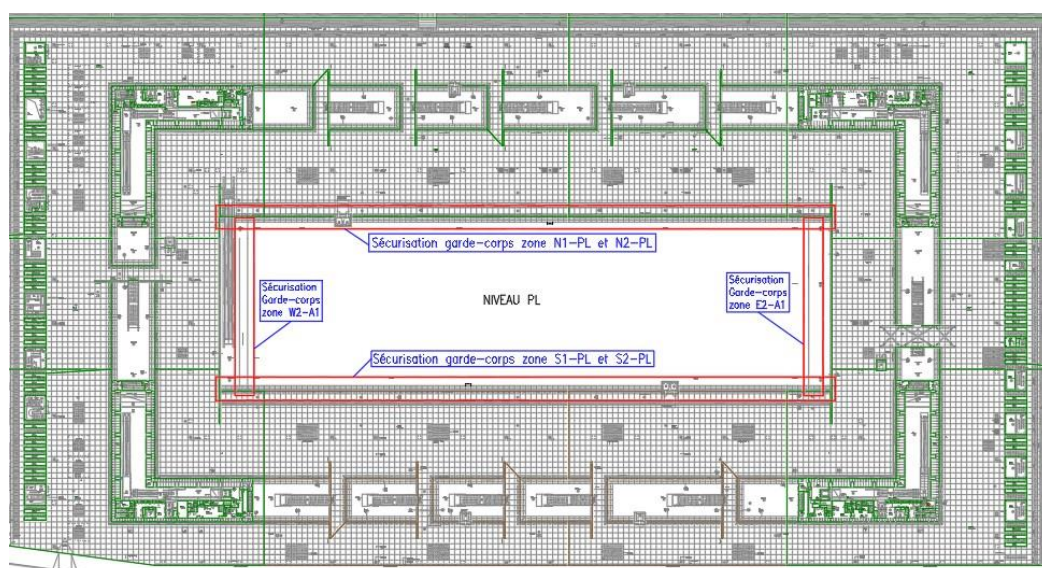
- Prestation 1 : installation de parois en verre de 3,40 mètres de hauteur dans les garde-corps autour du jardin central (parvis et terrasses)
  - Prestation 2 : installation de parois en verre de 2,35 mètres de hauteur au droit des passerelles situées dans les espaces « cathédrale » sous les 4 tours.
- Les deux prestations sont prévues pour être réalisées de manière simultanée.



**Ci-dessous les photos de l'état actuel de la Prestation 1 :**



**Localisation des zones à sécuriser sur les garde-corps en périphérie du jardin central :**

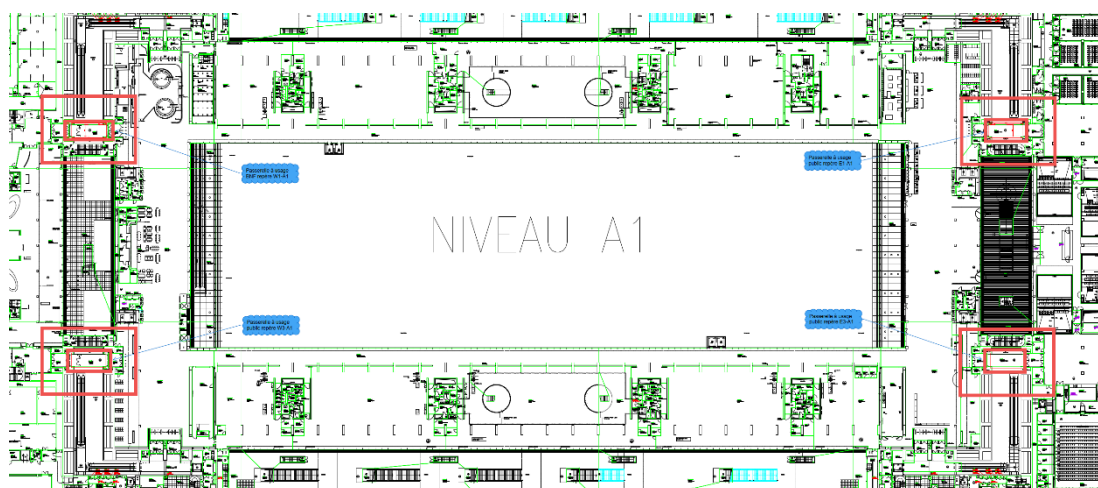




**Ci-dessous les photos de l'état actuel de la Prestation 2 :**



**Localisation des 4 passerelles intérieures dont 2 à usage BNF et 2 à usage Publics :**



## 2 Rappel des objectifs de la mission :

Sur l'ensemble des zones citées en référence ci-dessus, la BNF nous confie la mission suivante :

### **Diagnostic de la prestation 1 et de la prestation 2 :**

#### Phase de relevés sur site :

- Déplacement d'un ingénieur spécialisé en Enveloppe Façade / métallerie / garde-corps ;
- Recherche dans les archives des DOE ;
- Sécurisation des interventions ;
- Exécution de tout relevé nécessaire traduisant la technicité des ouvrages ;
- Reportage photographique ;
- Faire réaliser des démontages / remontages des habillages, capotages, platelages... masquant les ancrages ou ossatures des différents ouvrages ;
- Diagnostics visuels lors de visites sur site permettant d'effectuer un récolement et d'identifier d'éventuelles pathologies et non-conformités.
- Analyse de l'état des garde-corps existants et mise en évidence d'éventuels sinistres constatés et détermination de leurs causes et origines.

#### Pour réaliser ces missions, nous avons appliqué le mode opératoire suivant :

- Mise au net des éléments recueillis sur place ;
- Analyse détaillée des DOE de coffrage/ferraillage, de la charpente métallique, des étanchéités ;
- Recherche documentaire et normative ;
- Rapprochements aux normes et DTU ;
- Synthèse et recommandations techniques ;
- Vérification des hypothèses retenues dans la faisabilité réalisée par DPA/ARCORA ;
- Etablissement des hypothèses de charge du projet et contexte normatif à appliquer ;
- Prédimensionnement des solutions proposées par AIA Ingénierie ;
- Coupe de principe des différentes solutions avancées par AIA Ingénierie ;
- Etablissement de modèles 3D par Explorations Architecture des scénarios architecturaux évoqués par DPA/ARCORA et ceux réalisés par AIA Ingénierie

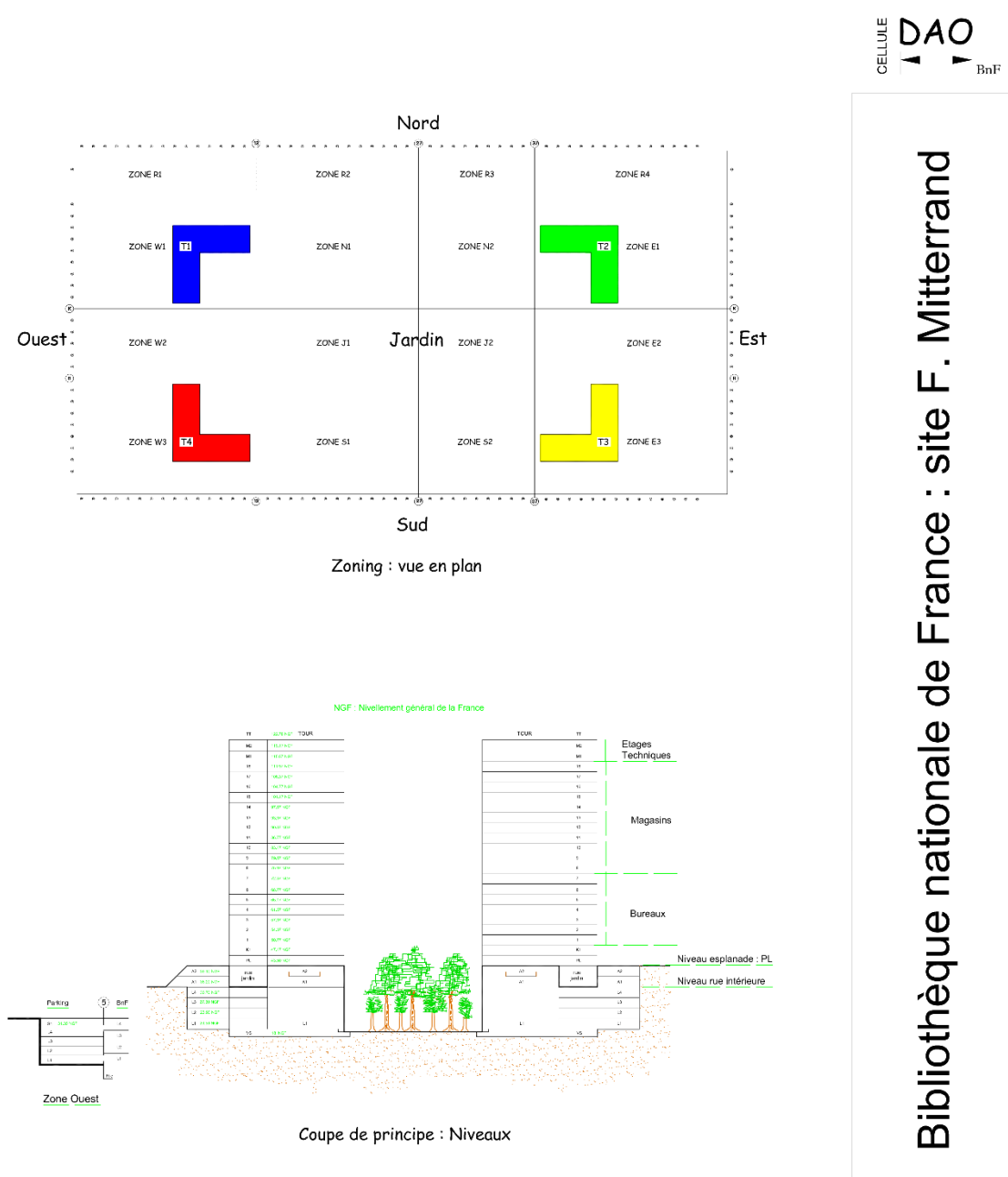
#### Revue de projet pour restitution à la BNF des scénarios architecturaux et techniques possibles :

- Analyses multicritères pour présentation à la BNF ;
- Argumentations pour présentation et discussion au bureau de contrôle de l'opération ;

### 3. Etude et analyse de l'existant et DOE :

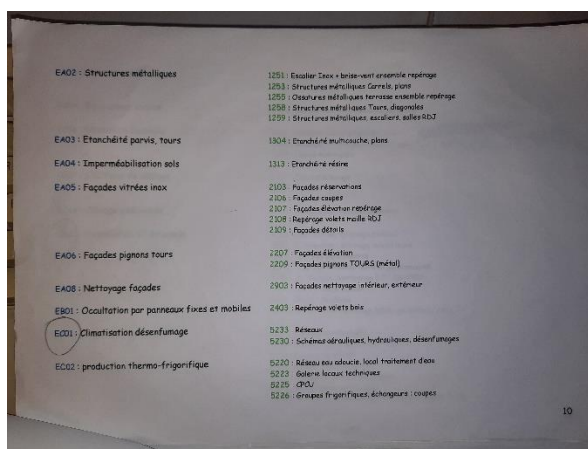
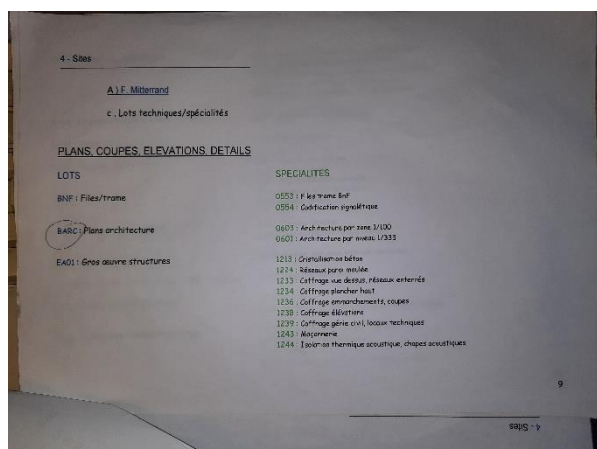
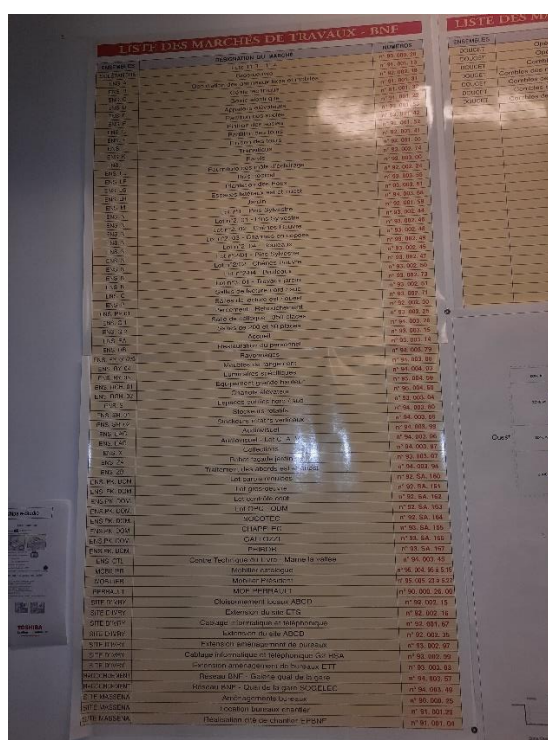
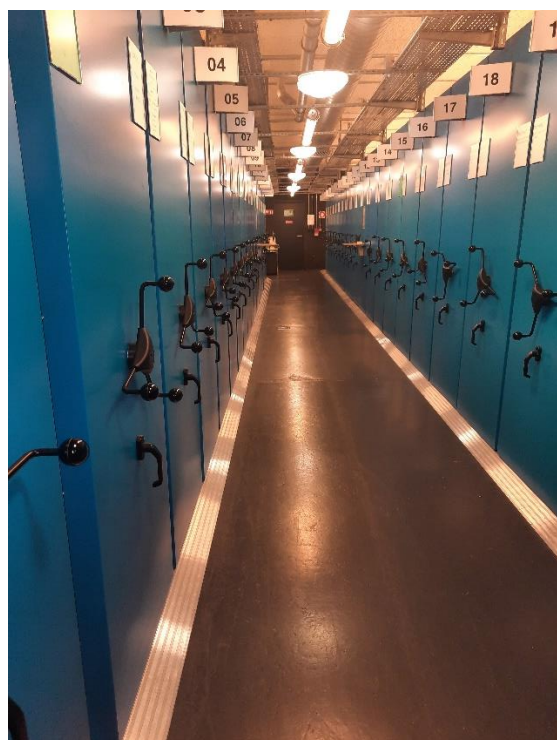
#### 3.1 Les archives de la BNF, les DOE :

Le site François Mitterrand de la BNF dispose d'une archive assez complète et contient pratiquement l'ensemble des documents depuis sa construction jusqu'aux divers remaniements ou compléments datés à ces jours. Ceci a permis une bonne analyse sur documents. Les archives sont répertoriées par zone, par niveau et par lot :





Certains documents ont été informatisés et sont disponibles et sinon pour l'ensemble il s'agit de documents papiers très bien conservés dans une salle dédiée comme toutes autres archives de la BNF.



Nous avons pu ainsi retrouver et analyser les documents suivants :

- Dans les plans BARC : plans architectes  
BFM PL X MBF BARC 0601 PL 00 001 (niveau de l'esplanade pour Garde-corps jardin) (info)  
BFM PL X MBF BARC 0601 A1 00 001 (niveau des passerelles intérieures) (info)  
Coupe 21 longitudinale W2 files P-Q - E2 files M-N (info)  
Coupe 02 transversale N1-S1 files 19-20 (info)  
Coupe 03 transversale N1 files 23-24 - S1 files 19-20 (info)
- Dans les plans EA01 : plans bétons  
BFM PL X MBF EA01 1233 PL N1 001 (info)  
BFM PL X MBF EA01 1233 PL N2 001 (info)

BFM PL X MBF EA01 1233 PL S1 001 (info)  
 BFM PL X MBF EA01 1233 PL S2 001 (info)  
 FER - Zone N1 Secteur d Niv 4290 File 14 (papier)  
 FER - Zone N1 Secteur d Niv 4295 File 13 (papier)  
 FER - Zone N1 Secteur d Niv 4295 File 15 (papier)  
 FER - Zone N2 Secteur c Niv 4350 File 37 (papier)  
 FER - Zone Nord Niv 4350 File 31 à 13 (papier)  
 FER - Zone Nord Niv 4350 File 35 à 15 (papier)  
 FER - Zone Nord Niv 4350 File 36 à 14 (papier)  
 FER - Zone S2 Secteur b Niv 4350 File 37 (papier)  
 FER - Zone Sud Niv 4350 File 31 à 13 (papier)  
 FER - Zone Sud Niv 4350 File 35 à 15 (papier)  
 FER - Zone Sud Niv 4350 File 36 à 14 (papier)  
 FER N1 secteur d Niv 4295 - poutre portique file 13 (NC) (papier)  
 FER - passerelle intérieure Zone E1 L4 (papier)  
 FER - passerelle intérieure Zone E3 L4 (papier)  
 FER - passerelle intérieure Zone W1 L4 (papier)  
 FER - passerelle intérieure Zone W3 L4 (papier)

- Dans les plans EA03 : plans des repérages étanchéités
 

BFM PL X MBF EA03 1304 PL E1 001 (info)  
 BFM PL X MBF EA03 1304 PL E3 001 (info)  
 BFM PL X MBF EA03 1304 PL N1 001 (info)  
 BFM PL X MBF EA03 1304 PL N2 001 (info)  
 BFM PL X MBF EA03 1304 PL S1 001 (info)  
 BFM PL X MBF EA03 1304 PL S2 001 (info)  
 BFM PL X MBF EA03 1304 PL W1 001 (info)  
 BFM PL X MBF EA03 1304 PL W3 001 (info)
- Dans les plans EA05 : plans des facades Vitrés
 

BFM PL X MBF EA05 2106 A1 X0 573 (info)  
 BFM PL X MBF EA05 2106 PL XB 578 (info)
- Dans les plans EL02 : plans des Garde-corps inox
 

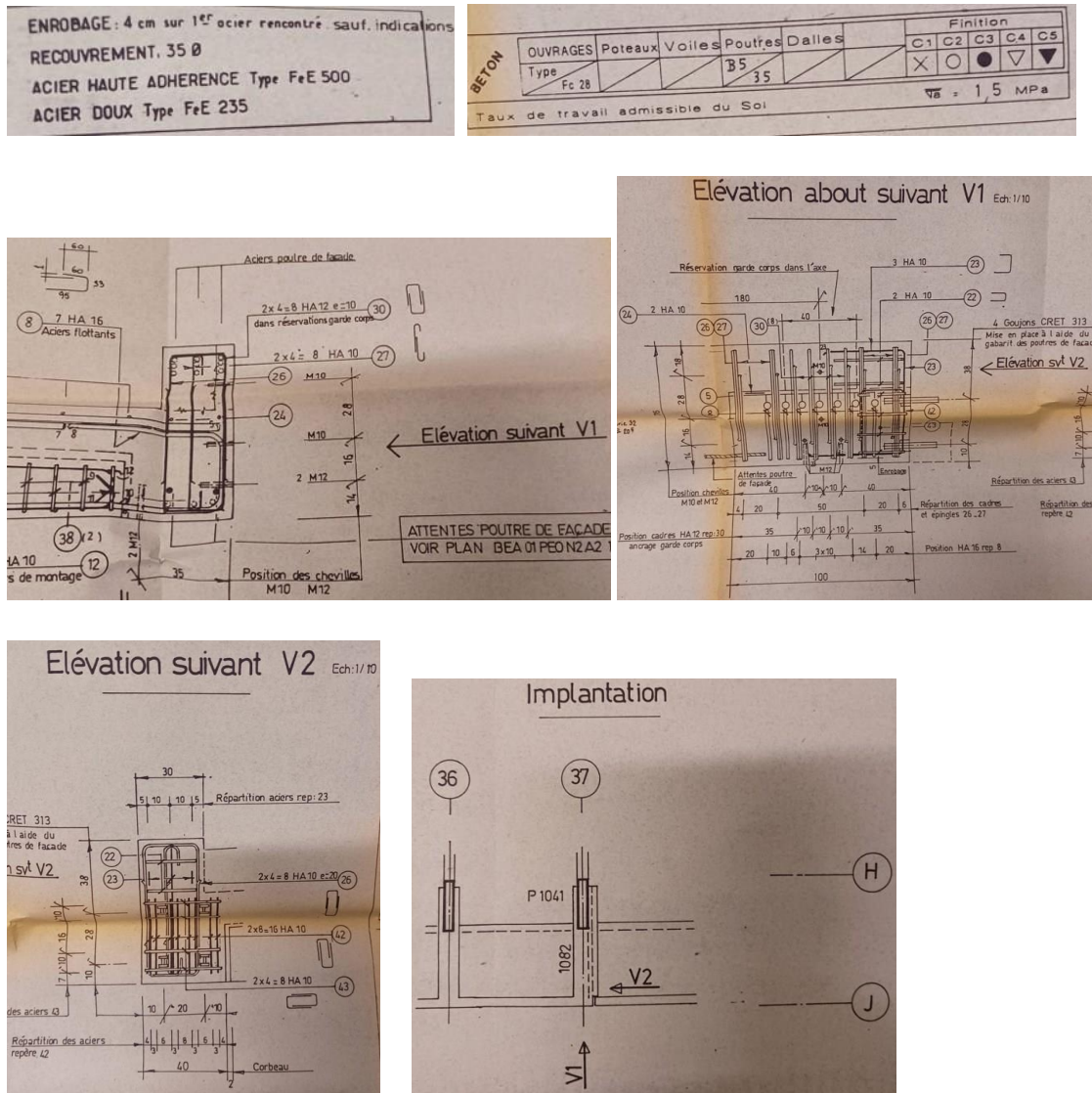
BFM PL X MBF EL02 4213 00 X0 085 (info)  
 BFM PL X MBF EL02 4213 00 X0 086 (info)  
 GARDE CORPS - BEL02 DOE XC00 4219 0101 (papier)  
 GARDE CORPS - BEL02 DOE XC00 4219 0051 (papier)  
 GARDE CORPS - BEL02 DOE XC00 4219 0068 (papier)  
 GARDE CORPS - BEL02 DOE XC00 4219 0075 (papier)  
 GARDE CORPS - BEL02 DOE XC00 4219 0080 (papier)  
 GARDE CORPS - BEL02 DOE X300 4213 0090 (papier)  
 GARDE CORPS - BEL02 DOE 0000 4200 0065 – note de calcul (papier)

**Dans les archives, nous n'avons pas retrouvé de documents concernant le platelage bois exotique qui recouvre l'esplanade. Nous n'avons pas retrouvé de documents concernant tous les habillages des parapets des passerelles intérieures.** Nous avons décidé de faire des sondages et/ou démontages pour en définir les modalités (cf. 4.3 Sondages et/ou démontages de l'existant).

## 3.2 Résultats d'analyse des DOE :

Concernant l'ouvrage de sécurisation des garde-corps en périphérie haute du jardin :

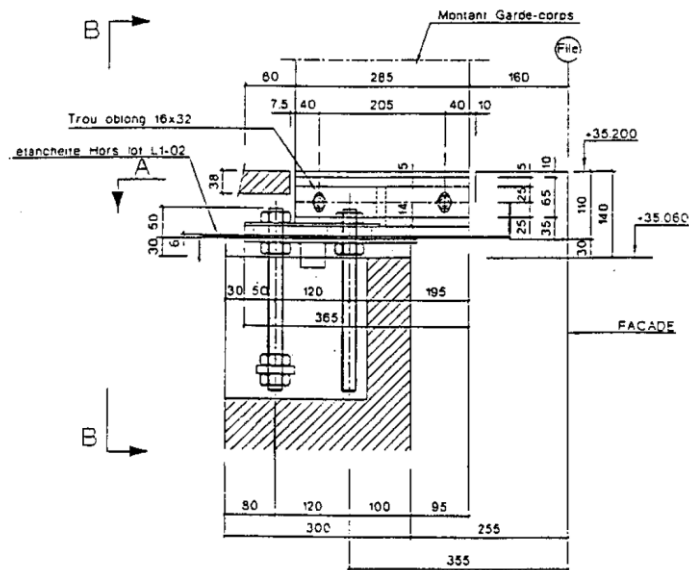
Le béton : l'analyse de tous ces documents a permis de mettre en évidence les qualités et ferraillages du béton dans les zones concernées. A savoir :



Les garde-corps : l'analyse de la note de calcul a permis de retrouver les hypothèses de charges, mais aussi d'identifier que les platines d'ancrages ont été implantés et scellés en parfaite coordination avec le gros œuvre et de s'inscrire parfaitement dans le plan de ferraillage.

Ces documents de calcul nous ont permis de mettre en évidence que les tiges d'ancrages de scellement étaient avec ou sans plaquettes et par conséquent ne se comporte pas de la même manière dans la reprise des efforts. Et de confirmer que les ancrages se font dans du BA à 350kg/m<sup>2</sup> et les scellements de ces barres au Clavex :





Notes de calcul des prescriptions.

Résumé des Hypothèses de Charges.

(Extrait Note technique n° 126)

Efforts au pied du garde-corps

Charges permanentes  $\downarrow 250 \text{ daN}$   $\downarrow 100 \text{ u daN}$

Poussée horizontale  $\leftarrow 180 \text{ daN}$   $\rightarrow 160 \text{ u daN}$

Surcharge  $\downarrow 550 \text{ daN}$   $\downarrow 560 \text{ u daN}$   
(Cas max)

Cumul de efforts non pondérés

CP + Surch =  $\downarrow 900 \text{ daN}$   $\leftarrow 180 \text{ daN}$   $\downarrow 822 \text{ u daN}$

Cumul des efforts pondérés

CP + Surch =  $\downarrow 1290 \text{ daN}$   $\leftarrow 240 \text{ daN}$   $\downarrow 116 \text{ u daN}$   
(1,35) (1,5)

Efforts ramenés au Niveau du rassemblement

$M^{\text{non pde}} = 822 \times \frac{1,2}{0,9} = 1096 \text{ u daN}$

$M^{\text{pondérée}} = 116 \times \frac{1,2}{0,9} = 1621 \text{ u daN}$

Traction max dans lig 25 (valeur pondérée)

$N = \frac{1621}{0,12 \times 2} - \frac{1290}{4} = 6430 \text{ kg}$

Tiges 624  $A_n = 353 \text{ mm}^2$   $\sigma = \frac{18,22 \text{ daN}}{\text{mm}^2} < 24/1,25$

Ancrages dans BA

dosage BA 350 kg/m<sup>3</sup>.

Nous avons aussi pu lire que les cordons de soudure d'assemblage des montants sur les platines avaient été optimisés. Ceci sera à considérer et vérifier pour les nouvelles conditions de résistances et aux besoins être renforcés :

#### 4) ÉLÉMENTS DE RÉACTION.

2

les éléments de réaction des charges pondérées en 66 à la liaison poteau/corbal et donc par l'axe des montants consistant à 2 plots

$$N = \frac{4}{3} \times 350 + \frac{3}{2} \times 550$$

$$N = 1.292 \text{ daN}$$

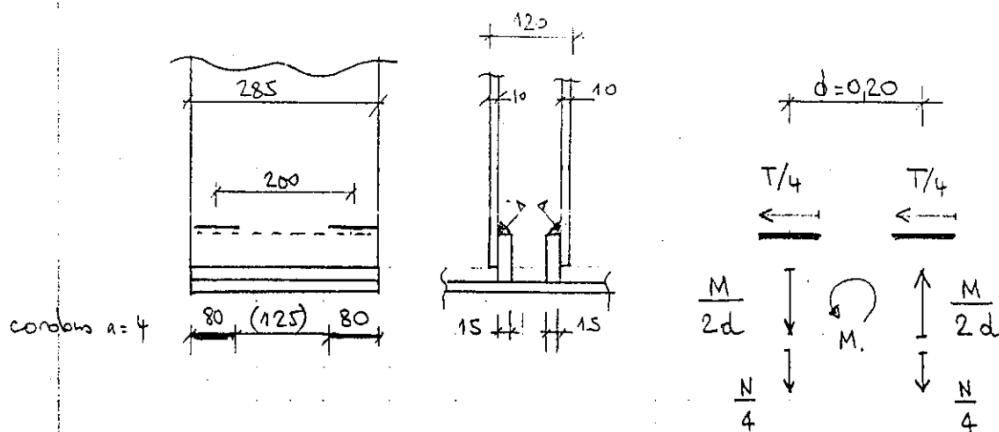
$$T = \frac{3}{2} \times 180$$

$$T = 270 \text{ daN}$$

$$M = \frac{4}{3} \times \underbrace{(350 \times 0,86)}_{1160} + \frac{3}{2} \left[ \underbrace{(550 \times 1,025)}_{560} + \underbrace{(180 \times 0,90)}_{162} \right] \quad M = 1216 \text{ daN.m.}$$

#### 5) JUSTIFICATION DES 4 CORDONS DE SOUTÈNEMENT

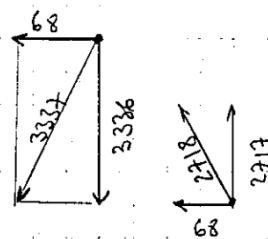
4 cordons  $a = 4$  long 90



$$\frac{T}{4} = 68 \text{ daN}$$

$$\frac{M}{2d} = 3040 \text{ daN}$$

$$\frac{N}{4} = 323 \text{ daN}$$

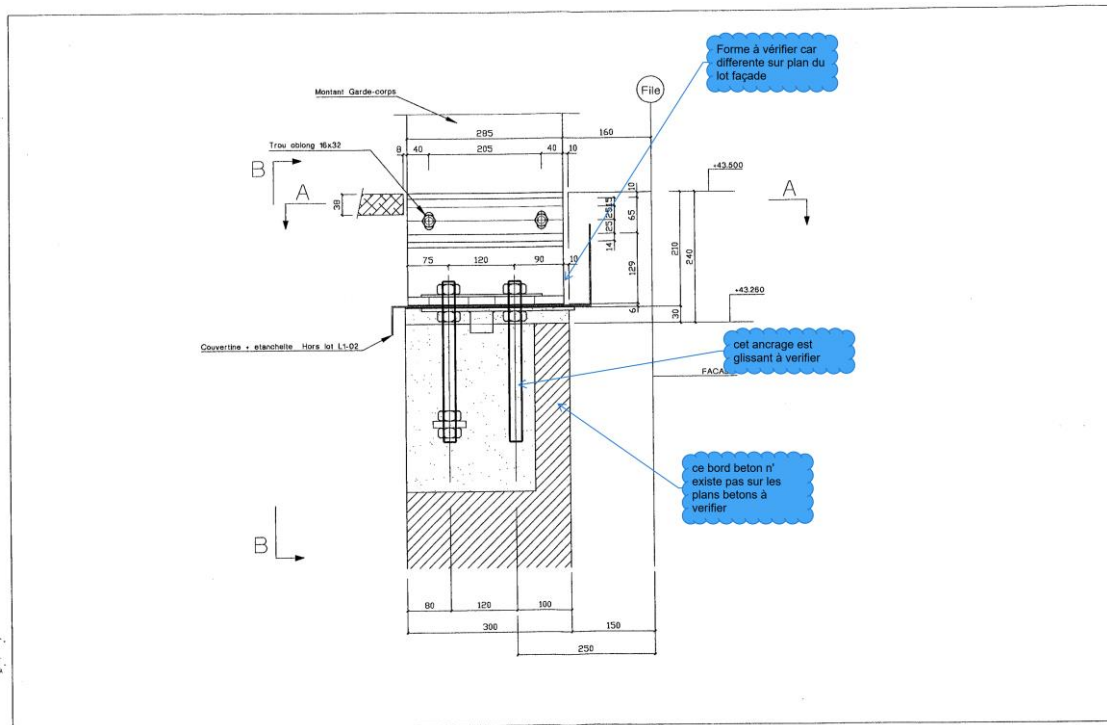


soit à appliquer la formule enveloppe de NF P.22-470 A.1.6.

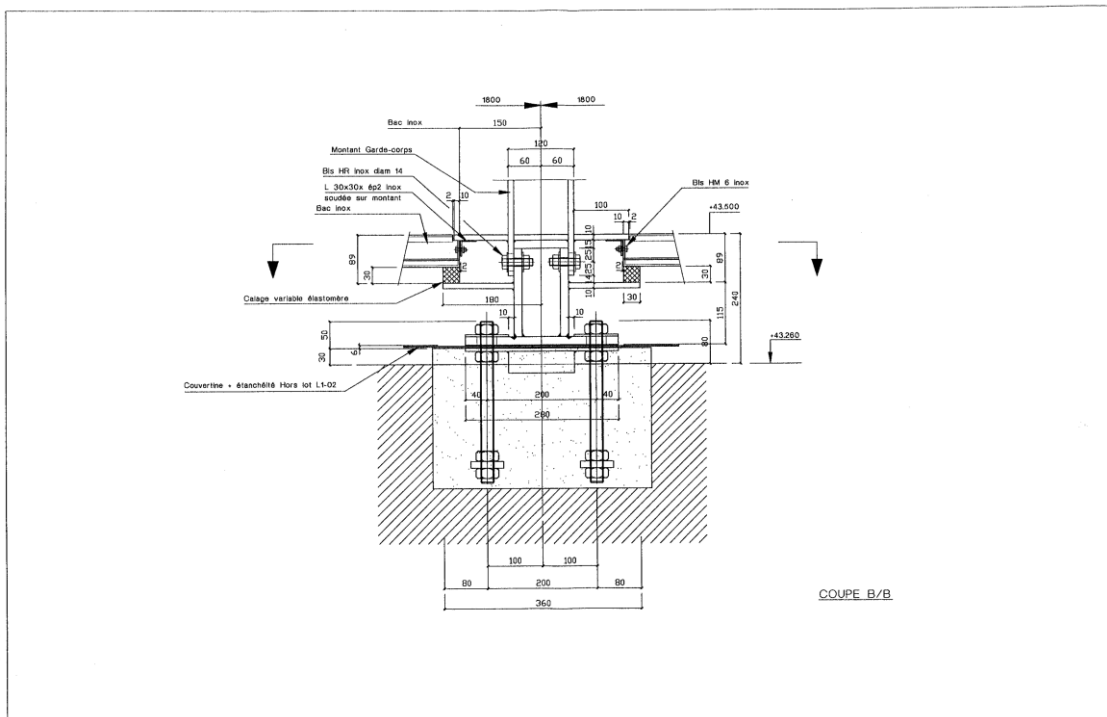
acier 316 L  $k \sqrt{3} \frac{N}{A_e} < \sigma_e$  (316 L  $\sigma_e = 19 \text{ daN/mm}^2$ )

$$0,7 \cdot \sqrt{3} \cdot \frac{3337}{80 \times 4} = 12,6 \text{ daN/mm}^2 < 19$$

Le détail des garde-corps des platines montre une certaine géométrie que nous ne retrouvons pas sur d'autres documents de DOE d'autres entreprises : nous notons que les montants sur le détail ci-dessous sont dans l'alignement et les mêmes dimensions que la platine et ceci sera vérifié par un constat sur site. On remarque aussi que le bord béton représenté ici n'existe pas sur les plans béton.



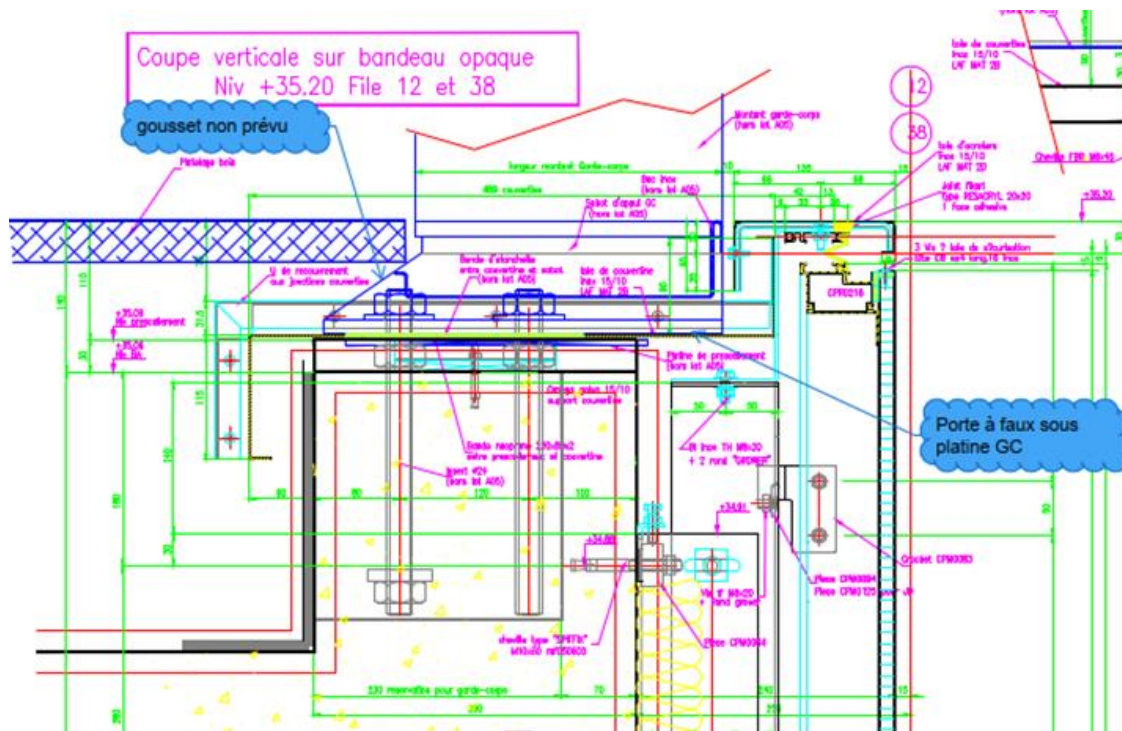
BIBLIOTHEQUE DE FRANCE										COUPE VERTICALE		AGNEL	3
MO	DETTEUR	MISSION	ZONE	MEAU	R	SPECIALITE LOT	N	SECURITE	REV	TITRE DU FOLD		ORIGINE	NO
B	E	L	O	2		D	O	E		X	C	O	O
						-	4	2	1	9		-	8
												0	2
												A	



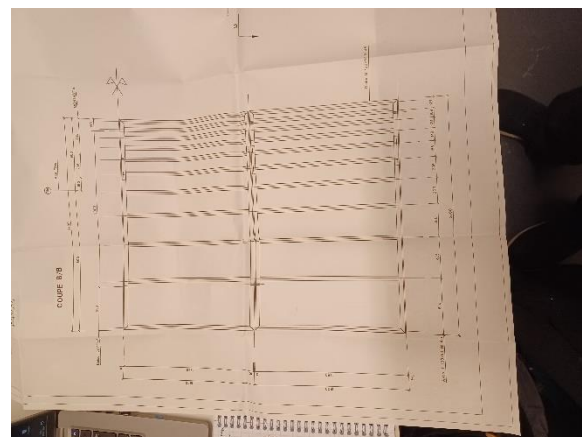
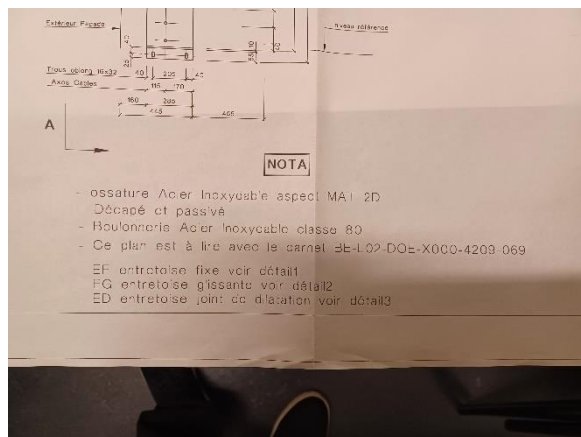
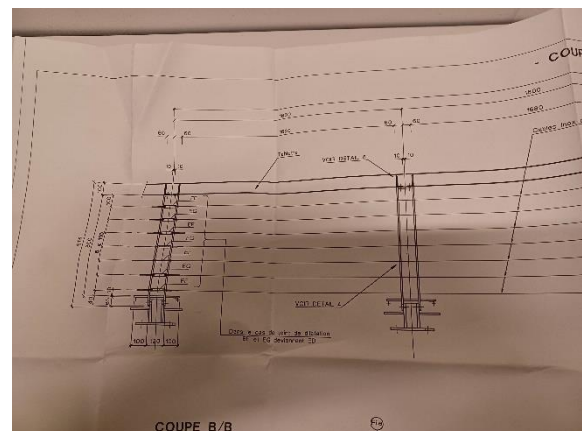
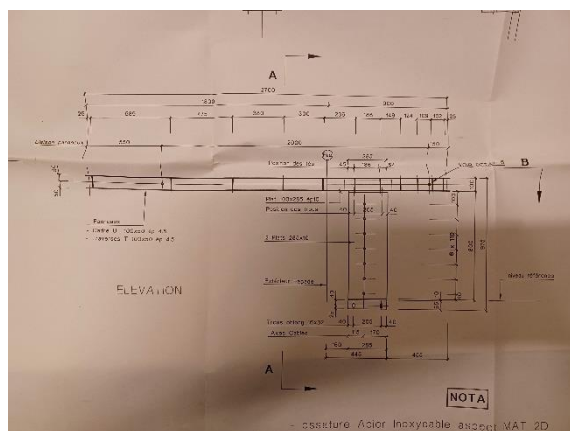
BIBLIOTHEQUE DE FRANCE										COUPE B-B		AGNEL	5
MO	DETTEUR	MISSION	ZONE	MEAU	R	SPECIALITE LOT	N	SECURITE	REV	TITRE DU FOLD		ORIGINE	NO
B	E	L	O	2		D	O	E		X	C	O	O
						-	4	2	1	9		-	8
												0	2
												A	



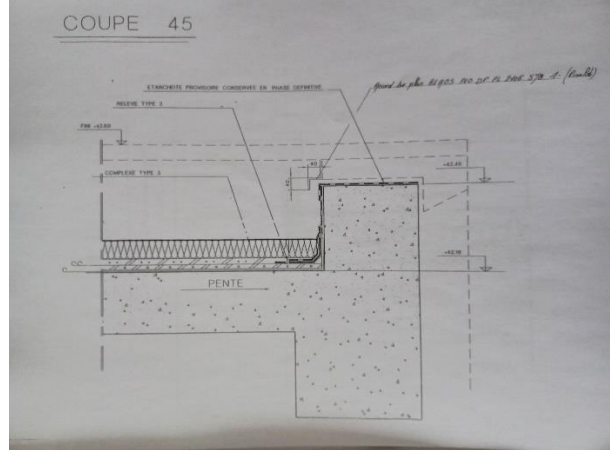
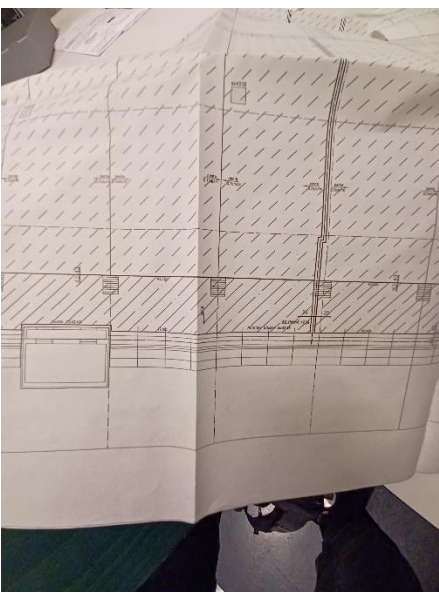
Nous notons aussi que l'ensemble platine et montant n'est pas en porte à faux sur le béton alors que les documents du façadier montrent le contraire : extrait plan BFM PL X MBF EA05 2106 A1 X0 573



Les DOE papiers ont aussi permis de retrouver l'ensemble des plans de fabrication des garde-corps :



Sur les DOE d'étanchéité, il n'est rien inscrit ou représenté de tout le lot platelage bois exotique et comme nous n'avons pas retrouvé de DOE de ce lot, ce sera seulement par constat de l'existant que nous pourrons établir les possibilités de mise en œuvre à prévoir.



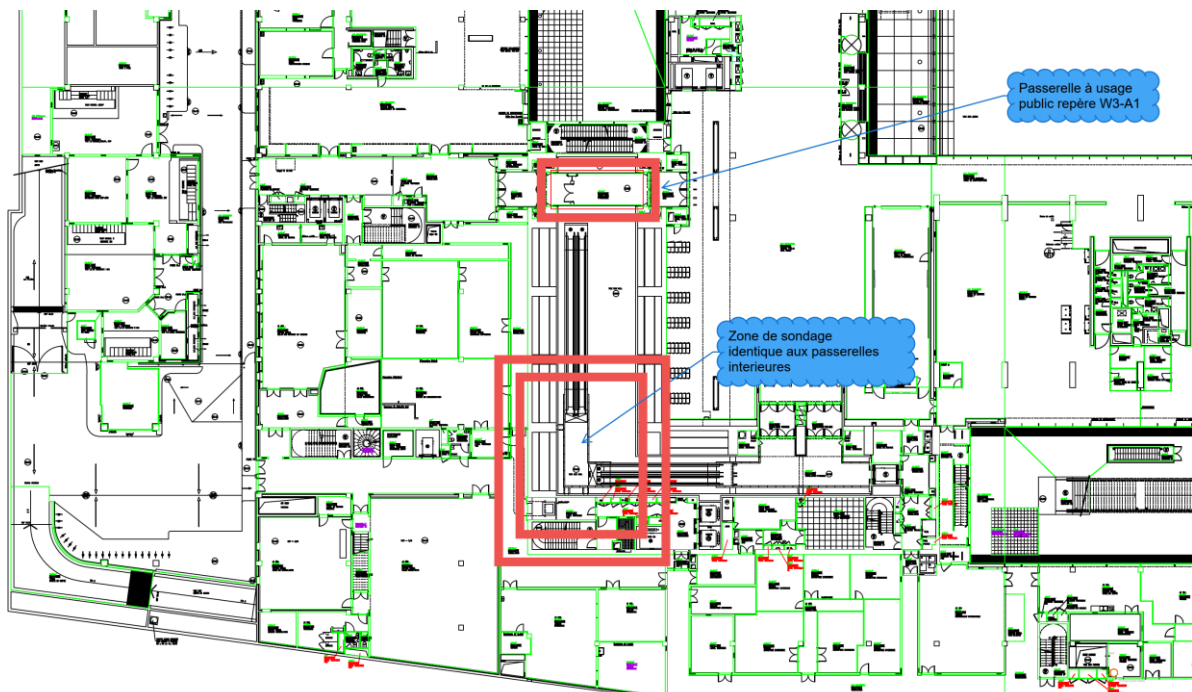
### 3.3 Sondages et/ou démontages de l'existant :

Afin de vérifier la conformité de l'existant avec les plans DOE et/ou par manque de documents DOE d'un ouvrage dans les archives, il a été mené 2 sondages/démontages sans toutefois avoir eu recours à de la destruction d'un quelconque ouvrage. A ce stade seul le contrôle visuel d'un expert a été nécessaire.

Le sondage 1 concerne les pieds des garde-corps existants sous le platelage bois. Ce sondage permettra de vérifier les dispositions des ossatures du platelage, de vérifier les dispositions de l'étanchéité, de vérifier la morphologie des platines d'ancrages des garde-corps.



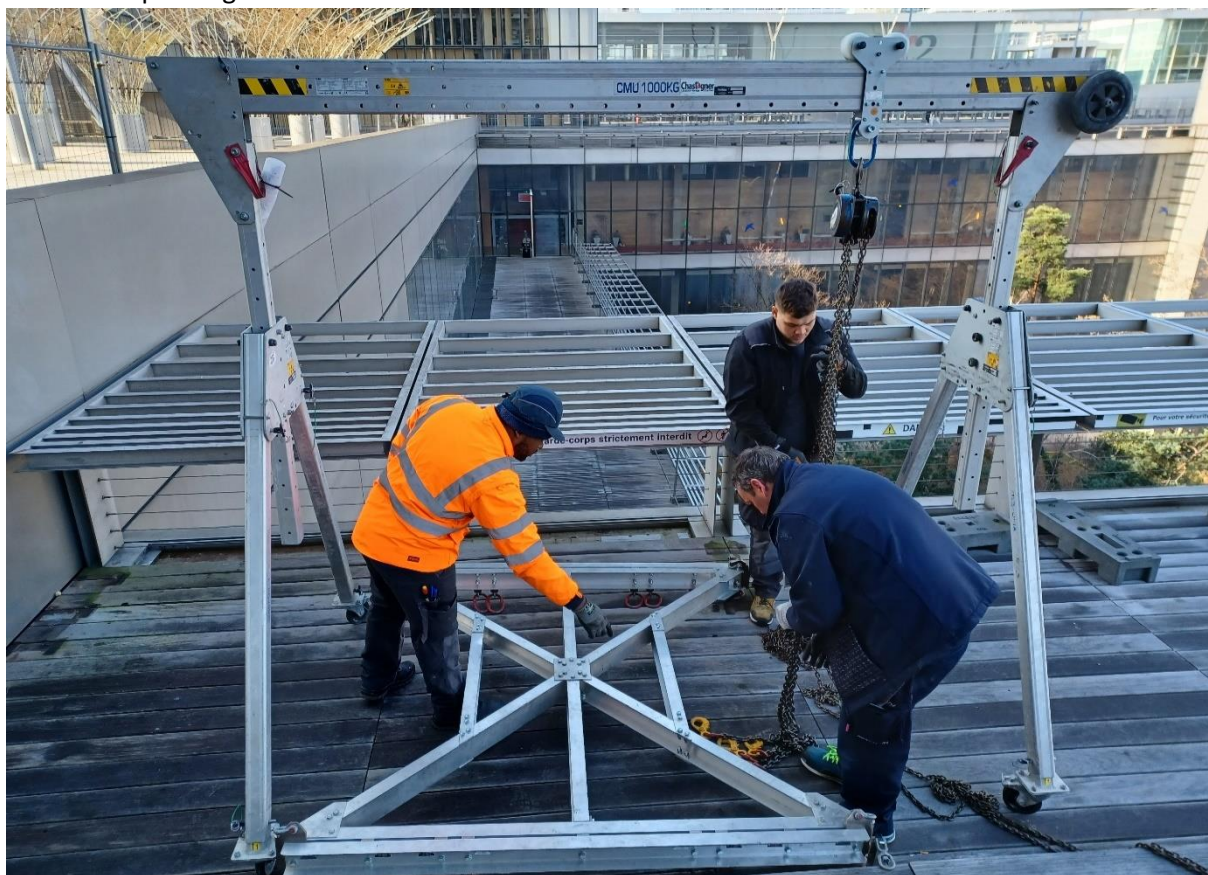
Le sondage 2 se fera sur une autre passerelle de constitutions identiques à celles que nous devons sécuriser car ces dernières ne sont pas facilement accessibles.





### Description du sondage 1 : Dépose et levage de plusieurs modules de platelage.

Le matériel utilisé est une potence sur pieds réglables disposant d'un palan à chaîne. Un palonnier fabriqué sur mesure aux dimensions des platelages permet de soulever de manière uniforme un module de platelage.



Des pinces spécifiques et fabriquées sur mesure sont nécessaires pour lever les modules de platelages. Il existe 2 formes de ces pinces en fonction de leur taille. Les grosses pinces sont utilisées pour les platelages de l'ensemble de la terrasse accessibles aux pompiers et les plus petites pour lever les modules de platelage sur le parvis et contre les garde-corps. Ici, ce sont ces dernières que nous utiliserons, au nombre de 4 :



Pince à platelage parvis



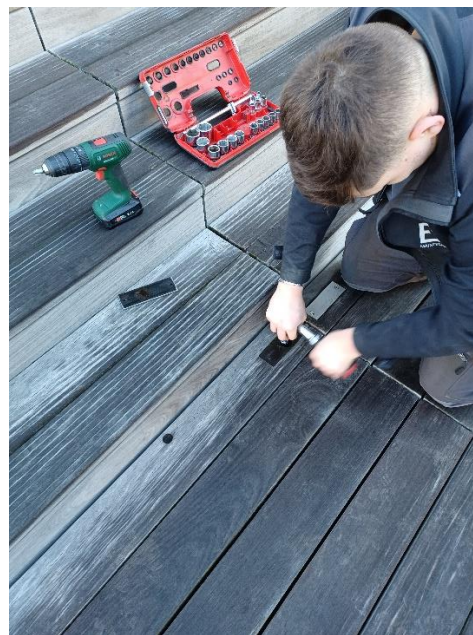
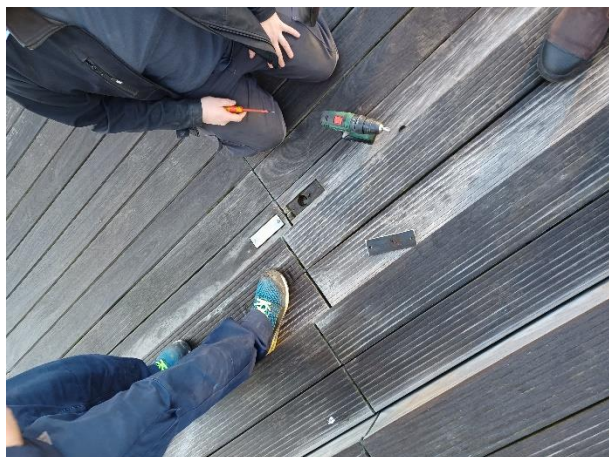
Pince en position ouverte



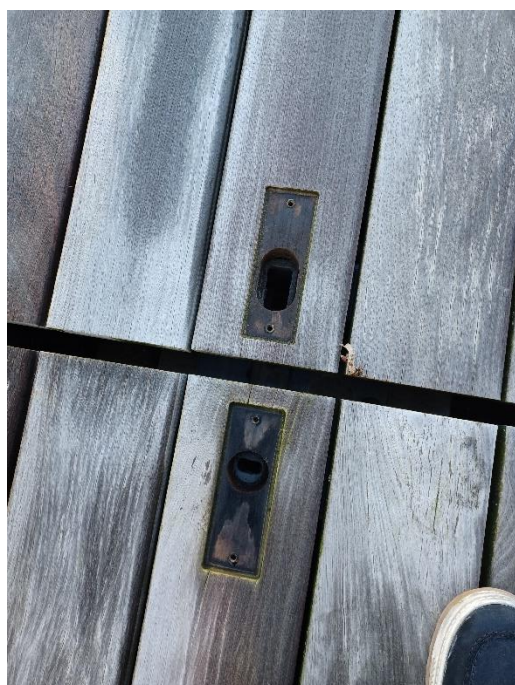
pince en position fermée



Sur le platelage à démonter, il faut dévisser les plaquettes de protections maintenues par 2 vis à empreinte inviolable (embout spécifique nécessaire) et ensuite démonter la vis de maintien dans le fond du trou avec une clé à douille :



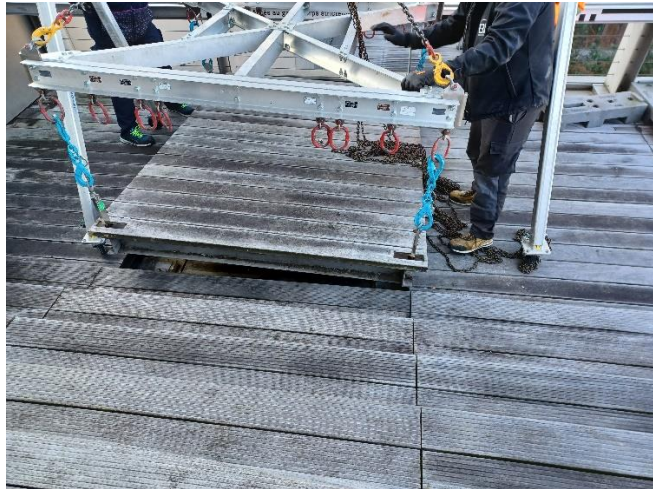
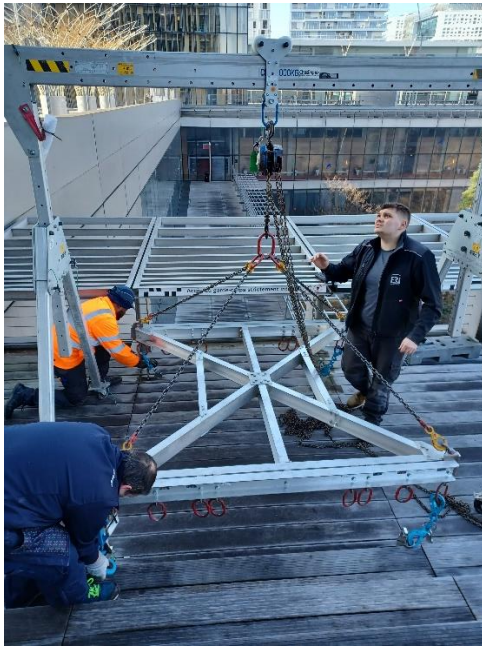
Il y a des trous oblongs sans fixation en fond et on remarque que les crochets spéciaux ne sont pas adaptés à ce type d'utilisation. Pour les cas standard, le crochet est mis en place et verrouillé en position de sécurité :



Vraisemblablement, il faut lever en premier un module standard devant les modules avec trous pour dilatation et il est alors possible de faire passer une sangle ou élingue afin de lever ce dernier.



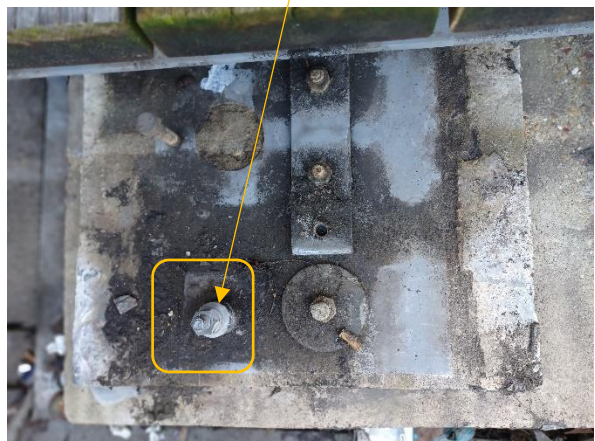
Les crochets sont ensuite accrochés au système de levage puis soulevés :



Les modules de platelage sur le parvis sont les plus imposants et ont un poids estimé à 800kg chacun. Cet ensemble de poutrelles en UPN 120 forme un socle sur lequel sont vissées les lames de bois exotiques par-dessous.



Ces modules reposent sur des plots en béton et sont appuyés sur des têtes de vis réglées en hauteur.





L'étanchéité est de type inversé et constituée sur plan DOE d'asphalte gravillonné recouvert d'isolant Roofmate et protégé par des dalles de béton posées dessus. Nous constatons que certaines sont brisées. Un constat d'huissier sera préconisé au démontage de l'ensemble, tout comme un bon nettoyage. **On constate que les évacuations sont partiellement bouchées ce qui peut engendrer des sinistres.**



Nous faisons le constat que des plots de béton sont posés sur l'étanchéité asphaltée (sans pouvoir affirmer à ce stade s'ils sont fixés à la structure).



L'ossature en UPN support de platelage bois formant un module, est grugée au droit du relevé de béton en rive et des platines de garde-corps. On constate que les supports de platelage et les platines de garde-corps sont alignés.

Nous constatons que les platines de garde-corps ne sont pas conformes aux plans DOE de l'entreprise car la platine est déportée vers l'intérieur et sans gousset ce qui induit que les montants et la platine sont comme le détail du façadier mais sans gousset.





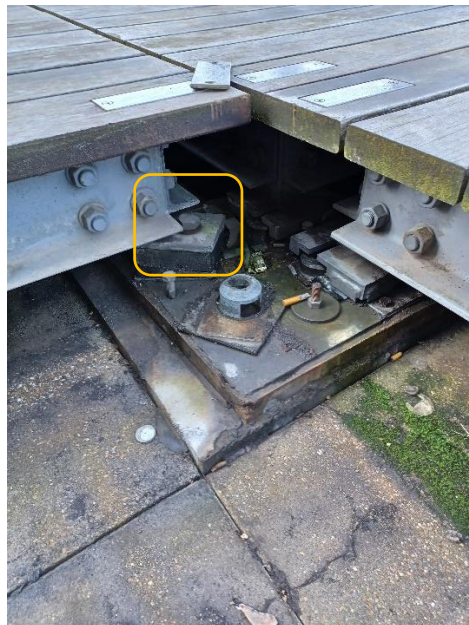




Ne pouvant démonter sur le parvis un platelage d'extrémité ni un platelage sur JD, nous faisons déposer un module sur la grande esplanade au droit d'un JD.



Cas dilatation (sans vis de maintien)



Point fixe (avec vis de maintien)

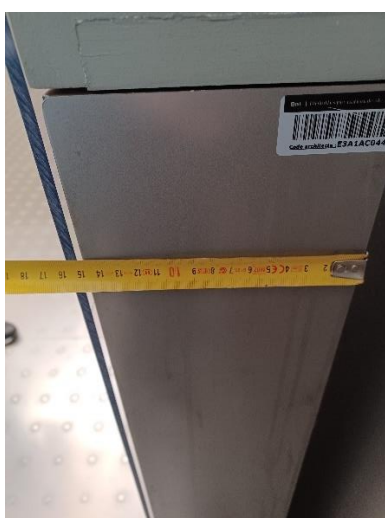
**L'ensemble est ensuite reposé mettant fin à ce sondage 1.**

## **Description du sondage 2 : Démontage d'un panneau parapet inox d'une passerelle intérieure.**

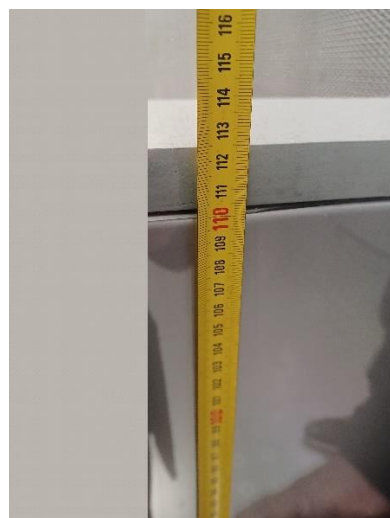
Les passerelles intérieures à sécuriser dans le cadre du marché sont actuellement habillées de plexiglas. C'est pourquoi nous allons démonter un panneau sur une autre passerelle accessible.



Vue de face



vue de côté (épaisseur)



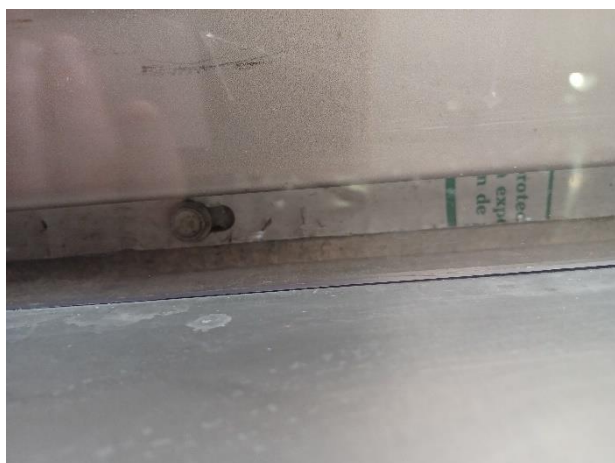
dimension en hauteur



Espace en retour



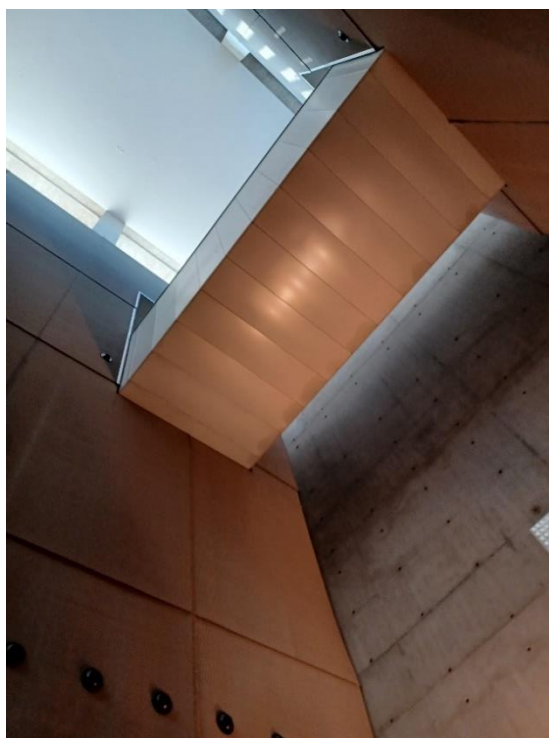
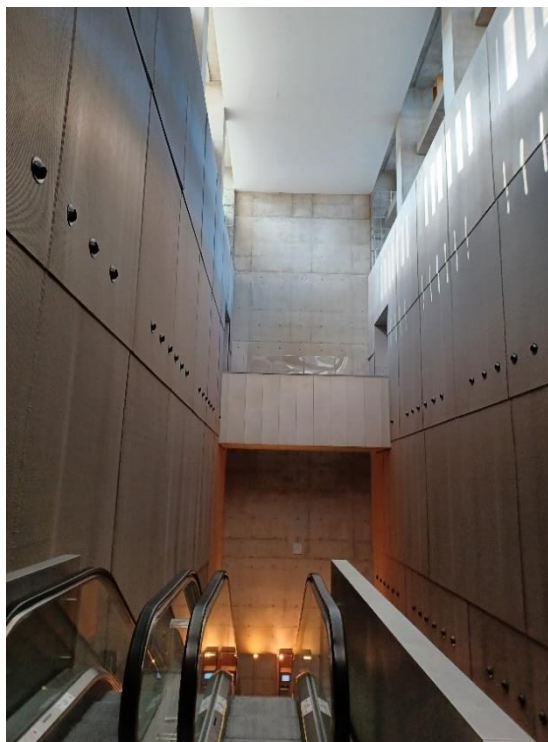
joint creux en partie basse



Vis « cachée » dans le joint creux en partie basse. Le système de fixation des cassettes est basé sur un principe de maintien en position de la cassette par cette rangée de vis et après enlèvement de celle-ci, il suffit de faire remonter la cassette par le haut pour la declipser de ses logements. La cassette est ainsi libre. L'opération et le maintien de la cassette du côté du vide est différent mais nous n'avons pas besoin de la démonter pour notre expertise.



La passerelle qui sera démontée est juste au-dessous de celle à sécuriser : les modalités sont identiques.



Le parapet est un remplissage en tôle inox sans fixation apparente. Les cassettes ont des plis sur la hauteur pour donner la raideur et la fixation de la cassette se fait sur le principe d'un appui linéaire haut et bas. L'appui haut n'est qu'une mise en position et l'appui bas est une mise et maintien en position.



Après dévissage des vis basses, et dépose de la cassette sur la passerelle, l'ossature principale est visible. Il s'agit d'une échelle en tube acier galvanisé de 60x4 avec 1 lisse continue en partie haute et des montants espacés tous les 1,40m.







La fixation en pied n'est pas visible à cet endroit et nous ne pouvons pas démonter plus en avant.

Néanmoins nous imaginons qu'au droit de chaque montant un sabot ou une équerre de géométrie suffisante est fixée par 2 fixations sur le dessus de dalle dans la hauteur des 10cm de réserves de sol.

**L'ensemble est ensuite reposé mettant fin à ce sondage 2.**

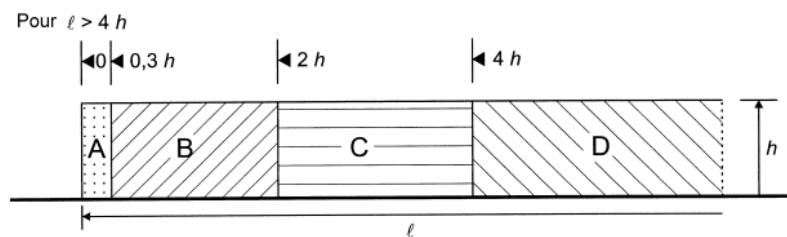
## 4. Solutions de sécurisation du jardin central

### 4.1 Hypothèses de charges considérées pour le projet

Pour le projet les charges suivantes sont à considérer :

- Poids propre des ossatures en acier inoxydable : **7900kg/m<sup>3</sup>**
- Poids propre des panneaux vitrés : **2500 kg/m<sup>3</sup>**
- Pour le projet, l'ajout de panneaux vitrés nous amène à intégrer les effets de charges de vent définies selon la NF EN 1991-1-4 :
  - o Région zone 2
  - o Terrain IIIa (effet de la proximité de la Seine qui crée un espace plus dégagé que IV)
  - o Pression dynamique de pointe considérée à  $q_p(z=20m) = 0.81kPa$

Selon le chapitre 7.4 – Mur isolés, on définit les coefficients de pression de vent :



En première approche les extrémités (zone A) ne sont pas considérées, on considère ainsi pour le dimensionnement la zone B et le coefficient  $c_{p,net}$  suivant :

Tableau 7.9 — Coefficients de pression recommandés  $c_{p,net}$  applicables aux murs isolés et aux acrotères

Taux de remplissage	Zone	A	B	C	D
$\varphi = 1$	sans retour d'angle	$l/h \leq 3$	2,3	1,4	1,2
		$l/h = 5$	2,9	1,8	1,4
		$l/h \geq 10$	3,4	2,1	1,7
	avec retour d'angle de longueur $\geq h$ a)	2,1	1,8	1,4	1,2
$\varphi = 0,8$		1,2	1,2	1,2	1,2

a) Une interpolation linéaire peut être utilisée pour les longueurs du retour d'angle comprises entre 0,0 et h.

Ainsi la pression résultante sur les vitrages est :  $w = 1.8 \times 0.81 = 1.46kPa$

- Une charge d'entretien sur les ossatures en acier selon la NF EN 1991-1-1 (équivalent à une toiture de catégorie H) : **0.8kN/m<sup>2</sup>**
- La surcharge verticale sur les ossatures en acier est à considérer comme une charge accidentelle : **1.5kN/m**

## 4.2 Vérification des capacités de l'ancrage existant :

### Hypothèses de charges pour les garde-corps sur l'existant :

Les hypothèses de charges considérées pour le dimensionnement des ouvrages existants sont définies dans la Note de Calcul des DOE intitulée « NC garde corps.pdf » datant du 20/01/1995. Elles sont les suivantes :

- Poids propre des ossatures en acier inoxydable (nuance Z3CND17.12) : **7900kg/m<sup>3</sup>**  
*N.B. : la nuance d'acier inoxydable est équivalente à du 1.4429 = 316 LN (Mo+)*
- Poussée horizontale de garde-corps à 0.9m (direction vers le vide) : **1kN/m**
- Surcharge verticale sur les ossatures en acier (considérée alternativement côté vide et côté place pour maximiser les effets de basculement) : **1.5kN/m<sup>2</sup>**
- Les charges de vent ne sont pas considérées comme dimensionnantes dans les études de l'existant, aucune charge de vent n'est donc prise en compte (faible valeur par rapport à la surcharge considérée précédemment).

### Capacité résistante des ancrages existants

A partir de la NDC des DOE « NC garde-corps.pdf », les efforts considérés (descente de charge maximale) sur les ancrages sont donnés p 64 du doc « NC garde-corps 2 sur 2.pdf ». Les valeurs sont non pondérées par cas de charges élémentaires, soit les valeurs suivantes :

Notes de calcul des pressions.

Tableau des Hypothèses de Charges.

(Extrait Note technique no 120)

Efforts au pied de garde-corps

Charges permanentes      ↓ 350 daN      ↻ 100 mdaN

Poussée horizontale      ← 180 daN      ↻ 162 mdaN

Surcharge  
(cas maxi)      ↓ 550 daN      ↻ 560 mdaN

- Sous CP : Fz=-350daN / Moment=100daN.m
- Sous Poussée horizontale : Fy=180daN / Moment=162daN.m
- Sous surcharge verticale (cas maxi=cas dans le vide seul) : Fz=550daN / Moment=560daN.m



Ces charges sont ensuite combinées pour obtenir les combinaisons dimensionnantes. Les pondérations considérées selon les normatifs de l'époque (équivalents aux ELU des Eurocodes) sont  $\gamma_{CP} = 1.33$  (Eurocode = 1.35) pour les CP et 1.5 (Eurocode = 1.5) pour les charges variables. Les pondérations sont donc très proches de celles employées dans les Eurocodes.

La NDC du DOE considère que la combinaison ELU maximale est :  $1.33CP + 1.5\text{Surcharge}$ . La poussée de garde-corps n'est donc pas considérée concomitante à la surcharge verticale de  $1,50\text{kN/m}^2$ .

Ainsi, selon la NDC du DOE, les efforts maximaux équivalents ELU, au niveau de l'ancrage sont les suivants :

- Cisaillement horizontal maximal :  **$F_y = 2,7\text{kN}$**
- Charge verticale maximale  **$F_z = -12,9\text{kN}$**
- Moment d'encastrement maximal  **$M_x = 12,2\text{kN.m}$**

Une première approche des capacités résistantes des tiges d'ancrages avec et sans plaque d'ancrage dans le béton est définies selon les « Recommandations pour le dimensionnement des assemblages selon la NF EN 1993-1-8 » de la CNC2M :

#### Résistance en traction :

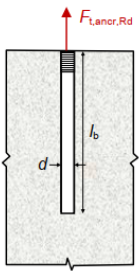
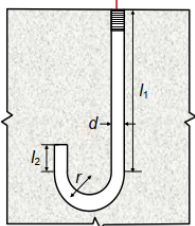
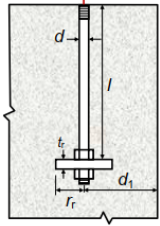
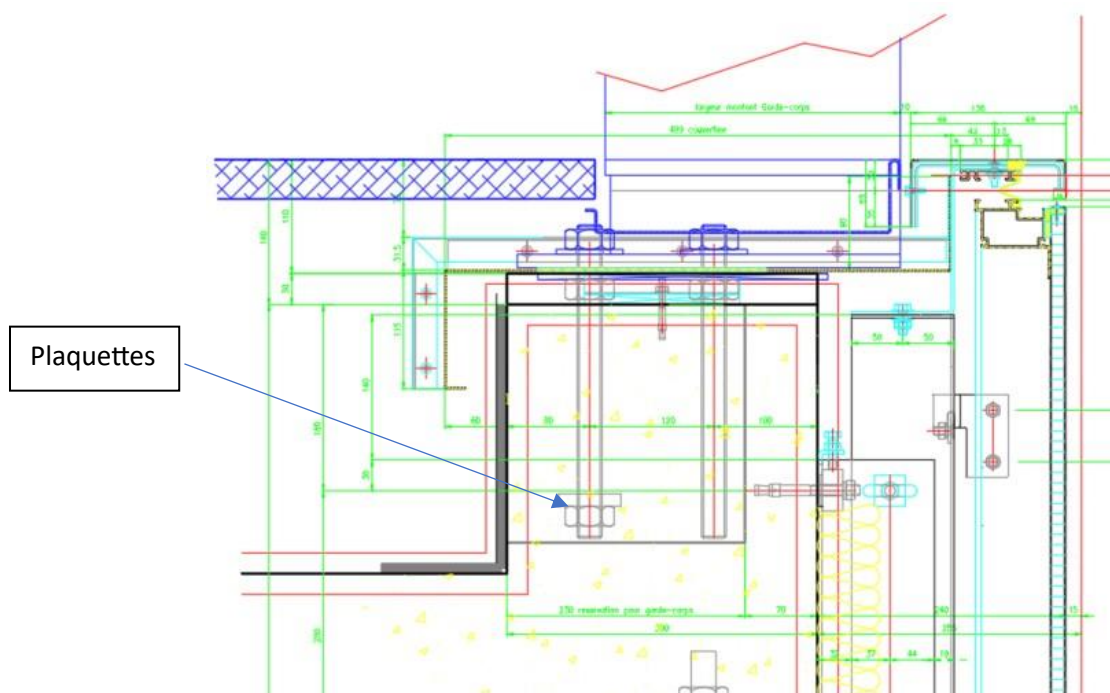
Tige	droite	crochet	Avec plaque d'ancrage
Géométrie			
Dispositions constructives	-	$r \geq 3d$ $1,5d \leq l_2 \leq 2d$	$t_r \geq 0,3r$
Résistance côté béton	$F_{t,c,Rd} = \pi d l_b f_{bd}$	$F_{t,c,Rd} = \pi d (l_1 + 6,4r + 3,5l_2) f_{bd}$	$F_{t,c,Rd} = 2,55 f_{bd} \pi (r^2 - d^2 / 4) \left(1 - \frac{r}{v}\right)$ $v = \min(l; d_1; p)$
Résistance tige	$F_{t,ancr,Rd} = \min(F_{t,Rd}; F_{t,c,Rd})$		
$p$ :	Distance entre tiges,		
$f_{bd}$ :	Résistance en compression du béton.		

Tableau 19 : Résistance en traction des tiges d'ancrage

Selon les dispositions géométriques de l'existant, les capacités en traction des tiges d'ancrages existantes sont les suivantes : Extrait issu de plan DOE BFM PL X MBF EA05 2106 A1 X0 573



- Hypothèse sécuritaire d'un béton C25/30 (selon plan DOE, indication d'une résistance  $f_{ck}=35\text{MPa}$ )
- Hypothèse tiges d'ancrage M24 de nuance équivalente 4.6

- Capacité de résistance du béton pour tiges avec plaquettes : **Ft,Rd=60kN**

Résistance Traction Tige ancrages - Avec plaquette	
d tige (mm)	24
r plaque (mm)	30
d1 bord béton (mm)	75
l longueur tige (mm)	200
p entraxe tiges (mm)	200
fck béton (MPa)	25
fcd béton (MPa)	16,7
Ft,c,Rd (kN)	60,6

- Capacité de résistance du béton pour tiges sans plaquette : **Ft,Rd=18kN**

Résistance Traction Tige ancrages droite	
d tige (mm)	24
l longueur tige (mm)	200
fck béton (MPa)	25
fbd béton (MPa)	1,2
Ft,c,Rd (kN)	18,1

*N.B. : la NDC des DOE indique que les plaquettes des tiges côté vide ne sont pas nécessaires car il est considéré que les charges génèrent un moment d'encastrement fort dans un seul sens (basculement global de la place vers le vide sous l'effet de la surcharge placée côté vide, donc traction forte dans les tiges d'ancrages côté place).*

- Capacité de résistance en cisaillement : **Fv,Rd=41.6kN**

$$F_{vb,Rd} = \frac{\alpha_{bc} f_{yb} A_s}{\gamma_{M2}}$$

où :

$$\alpha_{bc} = 0,44 - 0,0003f_{yb}$$

avec  $f_{yb}$  la limite d'élasticité de la tige exprimée en N/mm<sup>2</sup> et 235 N/mm<sup>2</sup> ≤  $f_{yb}$  ≤ 640 N/mm<sup>2</sup>

Résistance Cisaillement Tige ancrages	
<b>d tige (mm)</b>	<b>24</b>
<b>As (mm<sup>2</sup>)</b>	<b>353</b>
<b>fyb (MPa)</b>	<b>240</b>
<b>fub (MPa)</b>	<b>400</b>
<b>αbc</b>	<b>0,368</b>
<b>Fv,b,Rd (kN)</b>	<b>41,6</b>

La méthode de vérification suivante est à considérer :

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{vb,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1,4F_{t,Rd}} \leq 1 \quad \text{et} \quad \frac{F_{t,Ed}}{F_{t,Rd}} \leq 1$$

De manière sécuritaire, on montre que l'existant est justifié par cette méthode :

- L'effort de traction généré par le moment d'encastrement ELU max, sur chaque tige :
  - o Distance entre tiges d'ancrage d=120mm
  - o Nb de tiges : 2 avec plaque + 2 sans plaque
  - o Soit  $F_{t,Ed,max}=Mx/d/2=12.2/0.12/2=50.8\text{kN} < F_{t,Rd}=60.6\text{kN}$  (OK)
- Les efforts cumulés de cisaillement et traction max, sur chaque tige :
  - o  $F_{v,Ed}=2.7/4=0.7\text{kN}$
  - o  $F_{t,Ed}=50.8\text{kN}$
  - o  $F_{v,Ed}/F_{vb,Rd} + F_{t,Ed}/(1.4 \times F_{t,Rd})=0.62 < 1$  (OK)

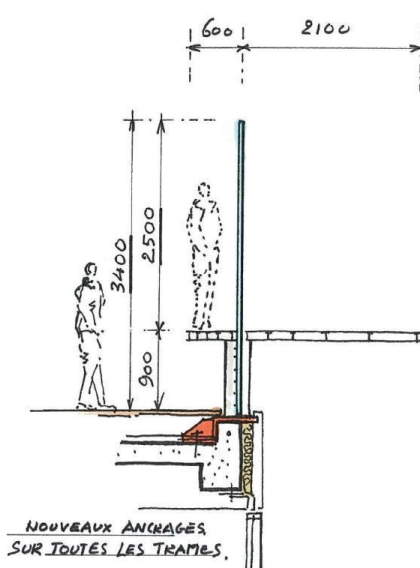
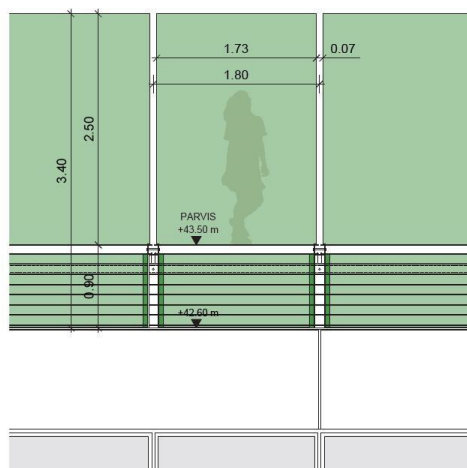
## 4.4 Rappel et critique solution DPA/ARCORA – Scénario 1 :

### **Sécurisation du jardin central**

L'étude de faisabilité DPA/ARCORA prévoit la mise en œuvre d'écrans en vitrage feuilleté de 3,4m de haut par rapport au platelage bois, soit 2,5m au-dessus du plan horizontal formé par le garde-corps existant.

Ces écrans sont tenus dans des profilés verticaux fixés de part et d'autre des montants du garde-corps existant. Au-dessus de 0,90m, il est souhaité que les vitrages aient des bords libres de manière à assurer la plus grande légèreté/transparence possible au dispositif.

ÉLEVATION DEPUIS LE JARDIN 1/25  
HAUTEUR DE 3.40 M DEPUIS LE NIVEAU DU SOL



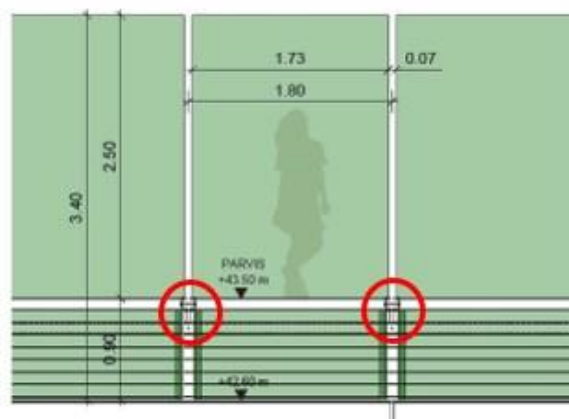
### **Enjeux techniques**

L'étude DPA/ARCORA a été principalement axée sur une hypothèse de parois vitrées autour du jardin présentant une hauteur totale de 2,5m. La solution retenue par la BNF demande des parois d'une hauteur totale de 3,4m soit 36% de plus, ce qui constitue un challenge technique significatif dans l'existant.

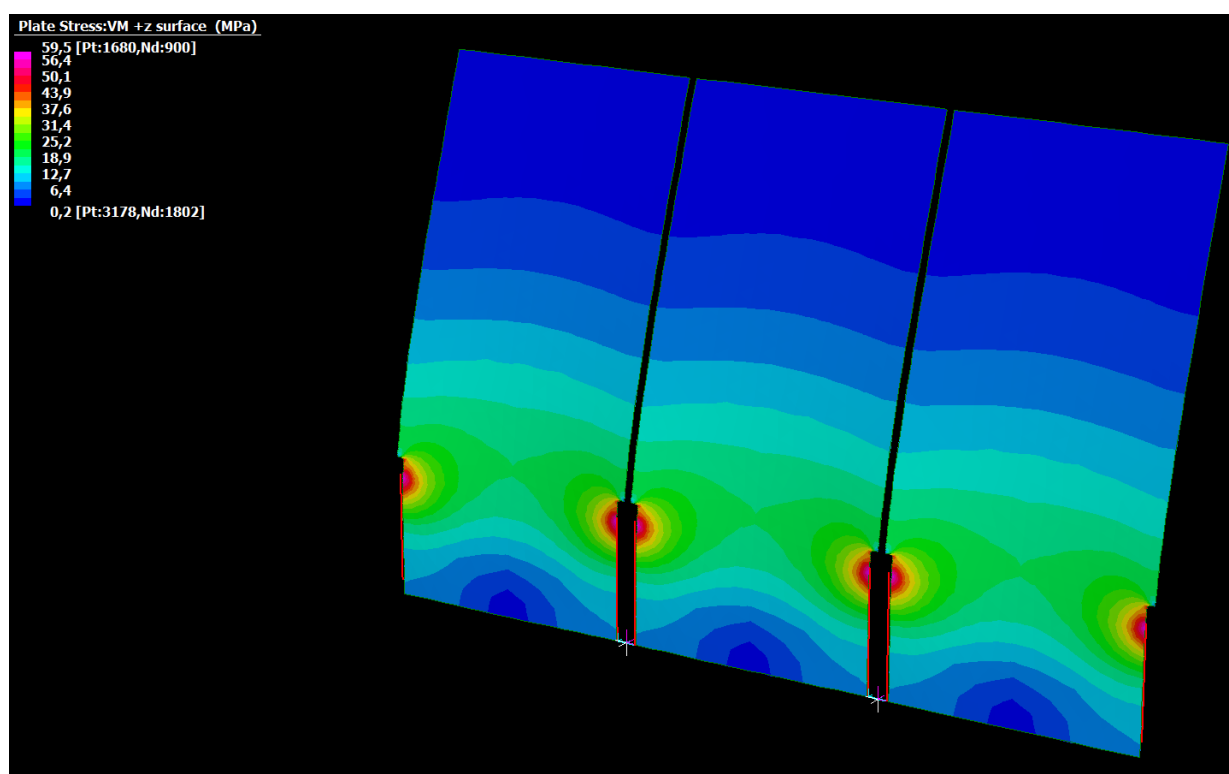
Dans cette étude, les vitrages (trame de 1,8m de large) sont maintenus latéralement par des profilés latéraux sur une hauteur de 0,9m soit environ 1/4 de la hauteur de la paroi. La concentration des contraintes dans le vitrage au droit de l'arrêt des montants latéraux sera à vérifier par le calcul. La flèche ou déformée des vitrages sur la hauteur de bord libre de 2,5m sera également à vérifier car le porte à faux vertical est très conséquent.

Le poids des vitrages indiqué dans la faisabilité est important. L'épaisseur prévisionnelle de 45mm (à vérifier) correspond à un poids de 112 kg/m<sup>2</sup>. Chaque panneau vitré aurait donc un poids d'environ 685kg.

Nous avons fait une vérification par le calcul aux éléments finis de cette configuration de vitrage :



Contraintes ELU de Von-Mises



Les vitrages présentent par ailleurs une encoche au niveau du garde-corps pour assurer un espace vide entre bords de verre inférieur ou égal à 11cm conformément à la réglementation garde-corps des ERP.

Selon nos investigations l'épaisseur totale de ces vitrages de 45mm (3x15mm) est très importante et les découpes fines avec tolérances seront très compliquées à obtenir, ceci remet en cause les encoches.

Ce vitrage épais serait composé de feuilletés de 3x15mm avec SGP selon nos calculs mais cette fabrication viendrait d'Amérique (GUARDIAN) car eux seuls savent produire, usiner et assembler actuellement ce type de produit pour le moment. Ces énormes volumes mettraient environ 20 semaines entre la commande et la livraison. De plus ils ne seraient pas certifiés Cekal et ni HST car ils n'ont pas ce genre de réglementation à respecter ni de four pour HST. Pour avoir une certification garde-corps il faudrait faire une campagne d'essai avec le CEBTP avec un délai d'environ 6 mois sans garantie



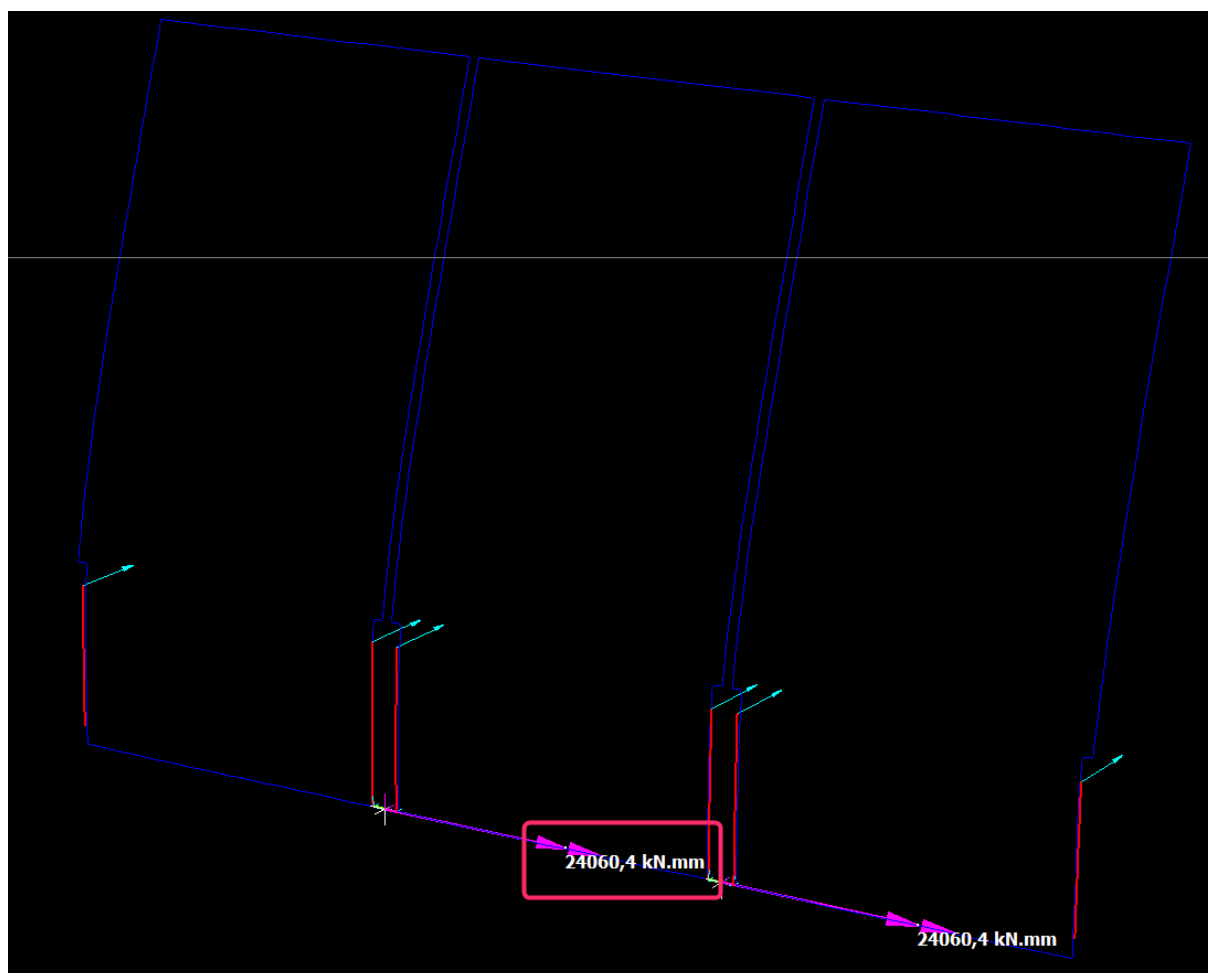
de résultats (en effet une campagne d'essais a été faite pour le JO 2024 et les vitrages ne faisaient que 1,8m de haut et les performances ont été difficilement atteignables).

Si ces vitrages ne devaient pas se faire avec du Sentryglas pour des raisons de fabrication mais seulement avec du PVB, il faudrait mettre sur tout le pourtour du vitrage un petit profil de protection en U afin qu'il ne soit pas soumis aux intempéries et ne se détériore pas avec le temps.

Le SAV de ce type de vitrage serait très compliqué à gérer et organiser du fait de cette problématique de fabrication. D'autant que nous préconisons aussi de la sérigraphie pour la protection des oiseaux.

**En résumé : toute fabrication de vitrage composé de vitrages d'épaisseur supérieure à 12mm sera compliquée à produire.**

De plus, le moment d'encastrement pour des vitrages de grande hauteur (3,40m de haut) devient dimensionnant pour l'ancrage existant. Ce dernier n'a pas la capacité en l'état de reprendre les efforts engendrés :



Le moment d'encastrement engendré est estimé à  $M_{x,ELU} = \pm 24 \text{ kN.m}$ . Les efforts de traction engendrés dans les tiges d'ancrages sont les suivants :  $F_{\text{trac},ELU}/\text{tige} = 24/0.12/2 = 100 \text{ kN}$ .

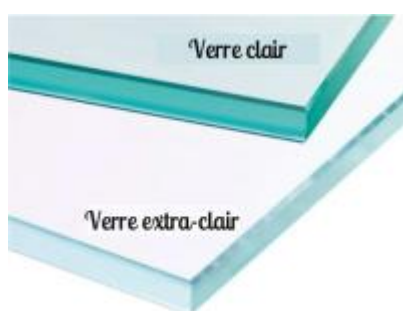
Cet effort est bien au-delà de la capacité des tiges d'ancrages existantes (cf. voir estimation résistance des tiges dans le béton chapitre 4.3). En effet, on dépasse ainsi la résistance de 1,6 fois (avec plaquettes) ou 5,5 fois (sans plaquette).

## 4.5 Principe développé par AIA/EA :

### ***Les enjeux architecturaux de la sécurisation du jardin central :***

- Limiter les modifications visibles sur les garde-corps existants (par exemple en utilisant les trous des câbles inox pour fixer les nouveaux profils servant à tenir les vitrages).
- Conserver une bonne transparence (limitation des reflets) et une couleur neutre vis-à-vis de vitrages très épais
- Créer des accès de maintenance/secours qui soient les moins visibles possibles.
- Proposer un traitement pour empêcher que les oiseaux percutent les vitrages (sérigraphie spécifique avec utilisation de Sentryglas ou de PVB – Attention il est impossible d'aligner les points d'un vitrage à un autre avec précision)

Nous étudierons pour ce projet la mise en œuvre de vitrage extra-clair (faible teneur en oxyde de fer) dont la principale caractéristique est de ne pas présenter des tranches de « couleur verte » quand il est mis en œuvre en forte épaisseur. Pour la protection des oiseaux, nous proposons des produits type Bird1st Lami DoubleShiny de Guardian compatible avec le Sentryglas XTRA.



Concernant les 6 accès de maintenance (et de secours) demandés au programme, nous nous attacherons à les positionner en extrémité de chaque linéaire de garde-corps afin d'en limiter l'impact visuel. Il faudra en effet prévoir au moins un montant intermédiaire sur une trame de 1.8m sur lequel sera fixé un ouvrant de 0,90m de large (dimension à mettre au point avec les services de la BNF et la BSSP).

A noter qu'il sera également nécessaire d'étudier la sécurisation des accès par-dessus les parapets pleins en about des grands côtés du jardin central. Même quand le dispositif anti-suicide aura été installé, il serait en effet possible de les enjamber facilement pour cheminer sur le garde-corps horizontal et contourner ainsi les écrans vitrés.

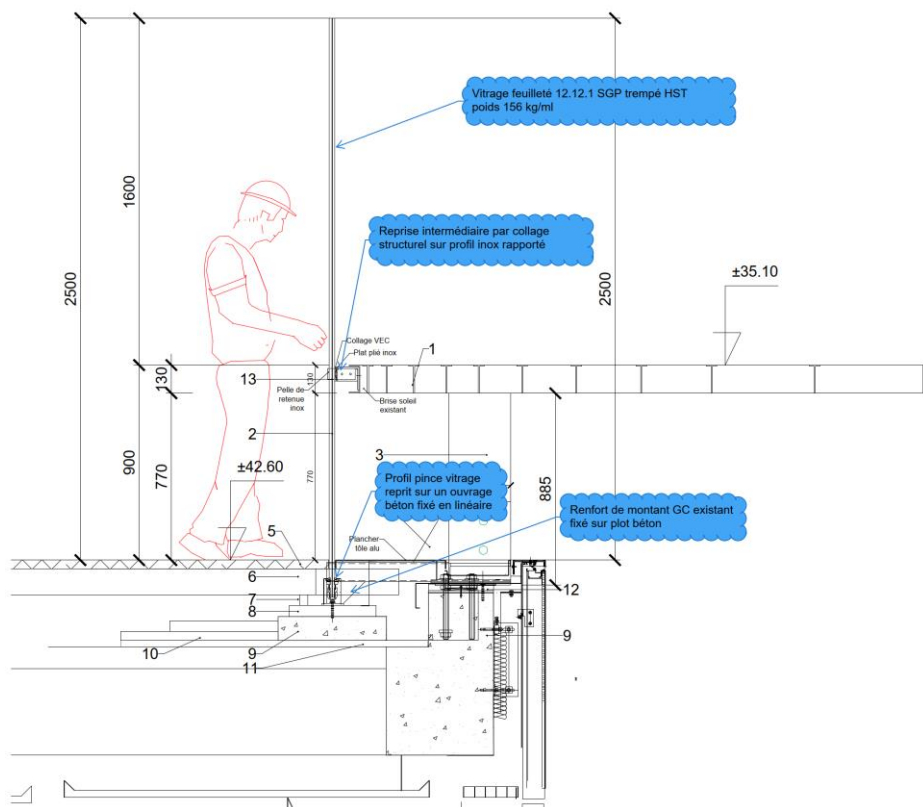
Les solutions développées ci-après respectent les principes d'avoir un impact minimal voire nul sur les ouvrages de l'étanchéité existante.

**Scénario 1-A :** Le scénario 1-A développe une solution adaptée aux différentes problématiques du projet et présente divers avantages. Cette solution vise à mettre en place un vitrage de 2,50 de hauteur (selon nos simulations) en mettant en œuvre le vitrage avant le garde-corps existant. Ce vitrage est essentiellement soumis à des efforts de vent.

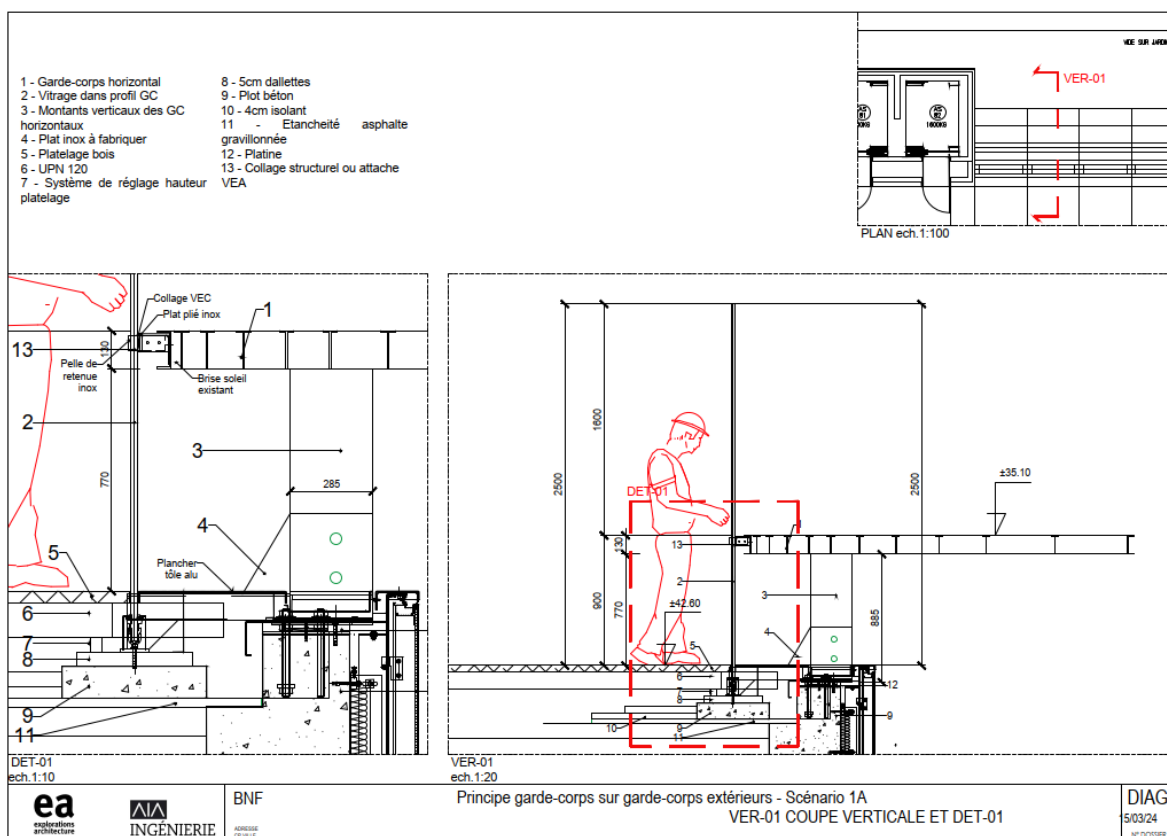
Cette hauteur permet de réduire l'épaisseur du complexe verrier (2 x 12mm), de limiter les pertes pour fabriquer la composition, d'avoir toutes les certifications type Cekal ainsi que de limiter les reprises d'étanchéité et d'ancrages. Le poids des vitrages à rajouter est relativement normal et ne nécessite pas de renforts trop importants. De plus, les épaisseurs de vitrages sont standards ainsi l'approvisionnement de vitrage en cas de SAV est facile. Ensuite, la mise en place du vitrage devant les garde-corps permet d'empêcher l'accessibilité au garde-corps horizontal existant.

Enfin, les efforts de garde-corps sont limités à 1m au-dessus du platelage et avec un effort de poussée de 1kN/m conformément à la réglementation des garde-corps dans les espaces publics.

Voir Annexe 1-A



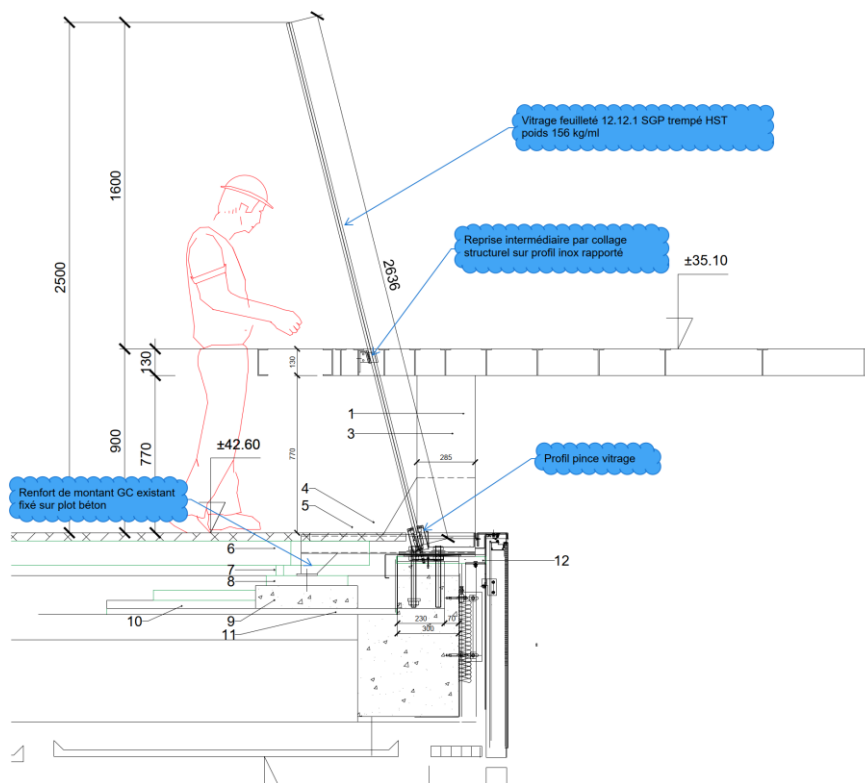




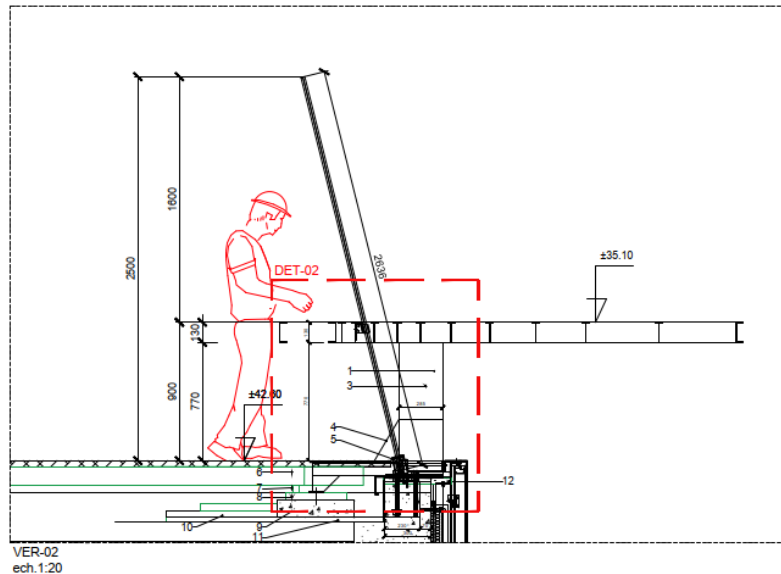
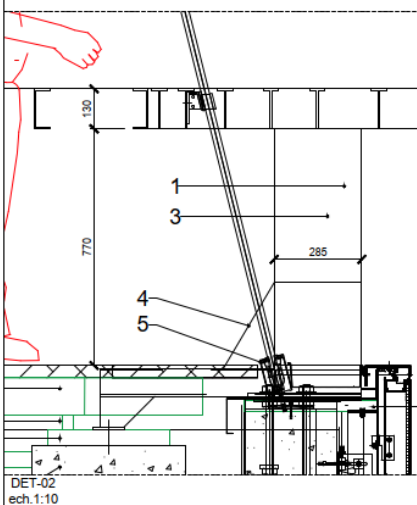
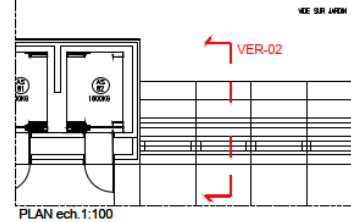
**Scénario 1-B :** Cette solution comporte un vitrage en biais s’inscrivant dans le garde-corps existant et arasé à 2,50 m de hauteur. Ce vitrage est essentiellement soumis à des efforts de vent. Les efforts de garde-corps sont limités à 1m au-dessus du platelage.

Cette hauteur permet de réduire l’épaisseur du complexe verrier (2 x 12mm), de limiter les pertes pour fabriquer la composition, d’avoir toutes les certifications type Cekal ainsi que de limiter les reprises d’étanchéité et d’ancrages. Le poids des vitrages à rajouter est relativement normal et ne nécessite pas de renforts trop importants. De plus, les épaisseurs de vitrages sont standards ainsi l’approvisionnement de vitrage en cas de SAV est facile. Ensuite, la mise en place du vitrage de biais dans les garde-corps permet d’empêcher l’accessibilité au garde-corps horizontal existant, néanmoins l’espace libre pour glisser le vitrage ainsi est limité et va complexifier la pose de biais du vitrage dans le garde-corps existant. Néanmoins, cette mise en œuvre ne suit pas le plan vertical souhaité par l’étude de faisabilité.

Un effort de poussée de 1kN/m doit être repris par le garde-corps existant car pas de zone de stationnement possible sur l’existant du fait de la géométrie du vitrage incliné vers l’intérieur. Voir Annexe 1-B.



- 1 - Montant tous les 1.40m
- 2 - Tube rectangulaire acier 60x60
- 3 - Tôle existante recoupée
- 4 - Tôle inox pliée à fabriquer
- 5 - Clip de maintien fixé sur profil GC
- 6 - Profil GC SABCO 007010
- 7 - Assemblage pop
- 8 - Cornière
- 9 - Fixations
- 10 - Vitrage dans profil GC
- 11 - Dalle béton
- 12 - Plancher



ea  
explorations  
architecture

AIA  
INGÉNIERIE

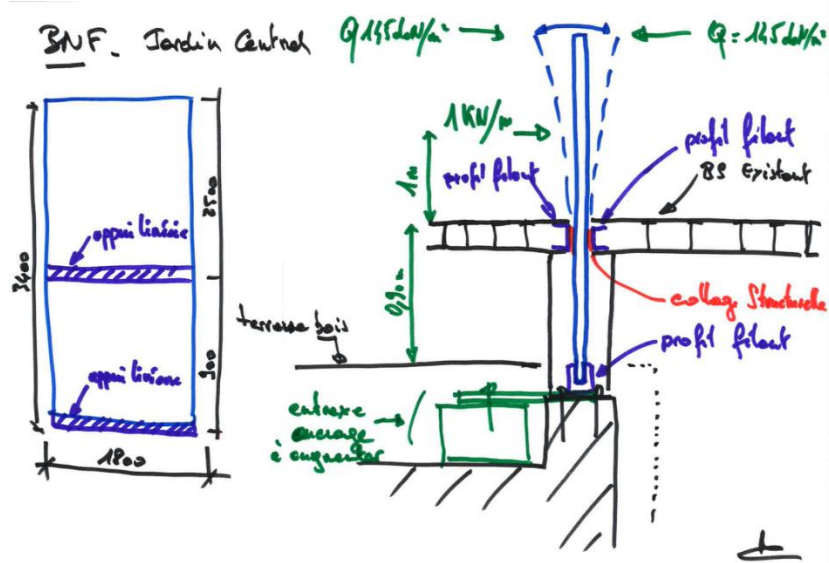
BNF  
ADRESSE  
CP VILLE

Principe garde-corps sur garde-corps extérieurs - Scénario 1B  
VER-02 COUPE VERTICALE ET DET-02

DIAG  
5/03/24  
N° DOSSIER

**Scénario 1-C :** Le principe développé dans cette solution serait de placer en pied de l'ouvrage actuel sur les platines, un profil qui permettrait la prise en feuillure basse d'un vitrage feuilleté sécurisé et ainsi que la reprise de son poids. Ce système suffisamment dimensionné permettrait de ne pas percer les étanchéités actuelles et serait lié d'une platine à une autre. Ce profil serait arasé ou effacé avec le niveau du platelage bois actuel afin de laisser une vision traversante en pied d'ouvrage.

Au niveau du garde-corps existant de DPA à +0.90 du sol fini, nous créons un point d'appui linéaire pour le nouveau vitrage de sécurisation. Ce point d'appui sera fait par un collage structural sur un profil inox. Nous rendons solidaire ce profil inox à collage structural avec les structures du garde-corps existant. Ainsi le vitrage de sécurisation de grande hauteur n'est plus à considérer comme encastré en pied mais plutôt comme un vitrage sur 2 appuis linéaires avec un porte à faux au-dessus.



Nous avons déterminé que les ancrages ne sont pas suffisamment dimensionnés pour reprendre tous les efforts et qu'il faut dans tous les cas les renforcer. La particularité du principe ci-dessus, pour éviter de surdimensionner ce renfort d'appui, c'est de le prévoir en appui simple sur l'étanchéité et de se servir du poids du platelage et de l'excentrement de la fixation.

Ces hypothèses étudiées ci-après seront soumises à la BNF et à Dominique Perrault avant le dépôt de permis de construire établi par Explorations Architecture.

Du point de vue des interfaces avec l'étanchéité et la structure du bâtiment, il s'agira de minimiser autant que possible les reprises en sous-œuvres éventuelles.

Les vitrages de sécurisation apporteront de nouvelles charges significatives sur les garde-corps existants et sur la structure béton. Le vitrage mis en œuvre, serait alors épais composé de **feuilletés de 3x12mm** avec SGP selon nos calculs (étude décrite ensuite). L'épaisseur du complexe vitrier à mettre en place serait alors conséquente et difficile à manipuler. De plus l'épaisseur des vitrages remet en cause également l'esthétisme et la transparence du complexe.

A ce jour, il faudrait faire une ATEX pour utiliser ce genre de composition de vitrage. Actuellement, l'avis de chantier semble possible, néanmoins le risque de devoir faire recours à une ATEX "normal" en s'appuyant sur des solutions déjà évaluées est probable.

En plus de l'épaisseur, se pose la question de la hauteur du vitrage. Dans cette solution, le complexe vitrier est prévu en hauteur 3.40m. Néanmoins, cette hauteur est problématique car elle entraîne



beaucoup de pertes de vitrages lors de la fabrication de ces derniers. En effet les plateaux verriers standard sont de 3.210m x 6 000m ainsi la hauteur de 3.40 m ferait utiliser trois plateaux verriers pour un seul vitrage.

Enfin, une autre problématique liée au vitrage est la mise en œuvre du sentryglass dans les couches. Le sentryglass en grosse épaisseur n'a malheureusement pas d'avis technique en cours et il nous faut vérifier également la compatibilité avec la sérigraphie utilisée pour maîtriser la collision des oiseaux.

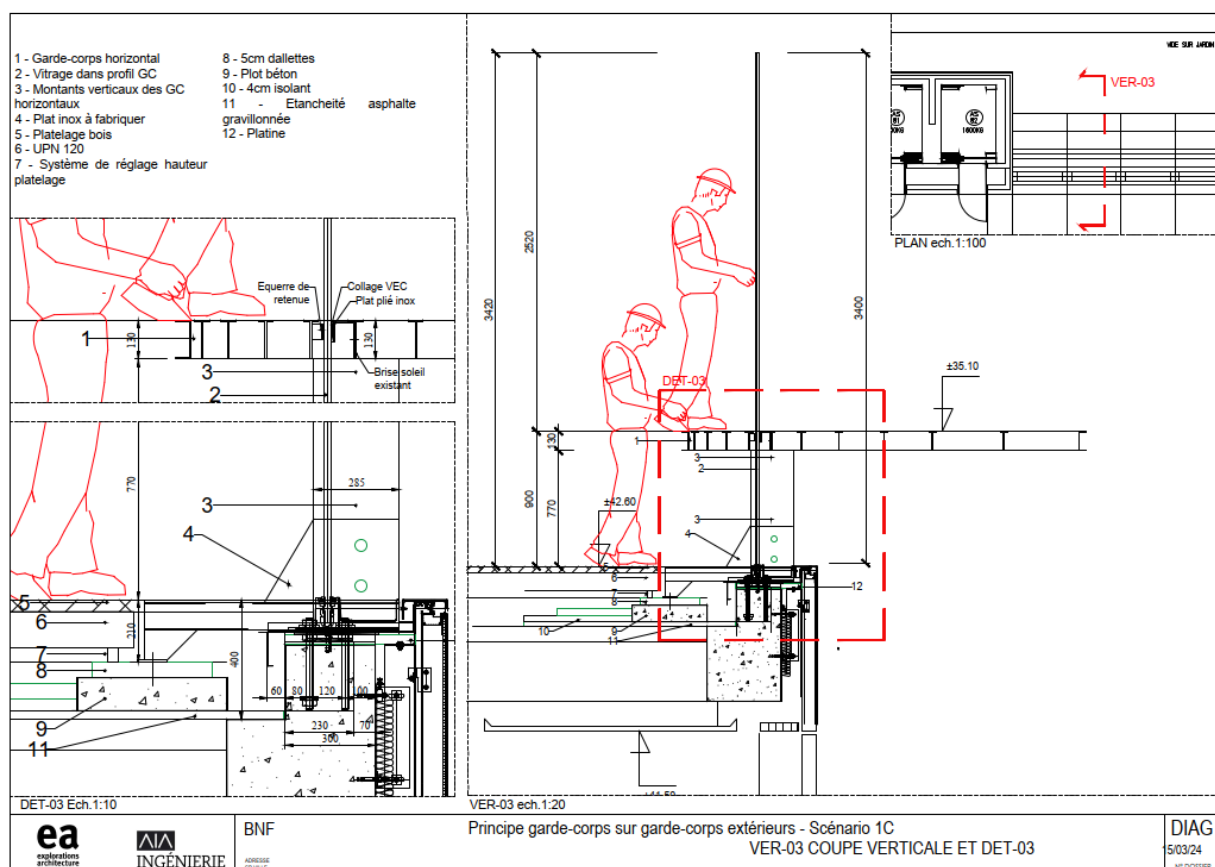
Il serait envisageable de profiter des travaux pour déposer le rail filant qui est fixé sur le dessous des garde-corps et qui servait initialement aux nacelles de nettoyage des façades. En l'état ce rail n'est plus utilisé, nous avons néanmoins considéré une charge de maintenance dans nos hypothèses de base. Sa dépose permettra de s'affranchir des charges de maintenance.

Nous avons déterminé par nos investigations et diagnostics que les ancrages et dimensionnements des garde-corps existants sont aptes à reprendre les nouvelles charges avec quelques améliorations de renforts. Nous n'avons pas besoin de faire de reprises en sous œuvre, seulement des rajouts de fixations seront nécessaires avec reprises d'étanchéités ponctuelles. Des modifications sur le platelage bois exotique d'ordre minimum sont à prévoir et ce ne serait que des grugeages dans le bois.

La sécurisation des intervenants sera relativement simple car les garde-corps seront laissés en place avec peu ou pas d'intervention côté vide. De plus, l'espacement entre les plats inox formant les pieds du garde-corps existant est de moins de 11cm en-dessous des 90cm du garde-corps épais conformément à la réglementation. Au-dessus de cette hauteur, ce seront les vitrages de sécurisation qui vont déterminer cet espacement de vide mais l'exigence des 11cm en verticale n'est plus justifiée au-delà des 90 cm. Le scénario 1-C ne permet pas de vérifier cette valeur donnée par la réglementation (cf paragraphe 4.6).

Le poids des vitrages à rajouter est conséquent et nécessite des renforts importants. De plus, les épaisseurs et les hauteurs de vitrages ne sont pas standards ainsi l'approvisionnement de vitrage en cas de SAV est compliqué. Ensuite, la mise en place du vitrage droit dans le garde-corps existant ne permet pas d'empêcher l'accessibilité au garde-corps horizontal existant sur la banquette (ce qui entraîne l'augmentation de la hauteur du vitrage). D'autre part, l'espace libre pour glisser le vitrage ainsi est limité et va complexifier la pose du vitrage dans le garde-corps existant.

Cette solution contraint à mettre en place un vitrage de 3,40 m de hauteur. Ce vitrage est essentiellement soumis à des efforts de vent. Les efforts de garde-corps peuvent être limités à 1m au-dessus de l'assise et avec un effort de poussée de 1kN/m conformément à la réglementation des garde-corps dans les espaces publics. Voir Annexe 1-C.



## 4.6 Conformité à la réglementation des garde-corps

### NF P01-012 de juillet 1988 :

Le garde-corps existant imaginé par Dominique Perrault est formé par un brise-soleil horizontal formant un garde-corps dit « épais ». Dans le cadre des solutions que nous avons développées, ce garde-corps est préservé et maintenu en place et les vitrages de sécurisation sont vraiment des organes dissuasifs et complémentaires.

Les garde-corps existants sont absolument conformes à la réglementation des garde-corps épais des ERP. Nous avons prévu d'enlever les câbles inox sous les 90cm formant le barreaudage actuel mais ils vont être remplacés par les vitrages qui vont totalement remplir ce vide. La fonction protection des personnes est maintenue conformément à la réglementation.

L'espacement entre les plats inox formant les pieds du garde-corps existant est de moins de 11cm en-dessous des 90cm du garde-corps épais conformément à la réglementation. Au-dessus de cette hauteur, ce seront les vitrages de sécurisation qui vont déterminer cet espacement de vide mais l'exigence des 11cm en verticale n'est plus justifiée au-delà des 90 cm. En effet, il est hautement improbable voire impossible que des enfants soient amenés à cheminer au-delà de ces 90cm de haut sur le garde-corps existant, qui est déjà conforme à la réglementation. Nous estimons que le vide vertical entre 2 vitrages sera au maximum de 14 cm ce qui est appréciable d'autant que dans les scénarios 1-B et 1-C il n'y a plus de possibilité d'assise possible sur le garde-corps existant.

C'est pourquoi nous retenons que les vitrages ne seront pas encochés, ce qui aurait constitué une complexité additionnelle dans la fabrication de vitrage aussi grands et épais. Nous discuterons de cette application de cette règle avec le bureau de contrôle. Nous ne l'avons pas chiffrée.

#### **2.3.2 Garde-corps constitués d'éléments verticaux et horizontaux (barreaux, panneaux, lisses...)**

La dimension horizontale des vides entre barreaux, panneaux, façades, tableaux dont la plus grande dimension est verticale doit être au plus égale à 0,11 m (voir figure 31).

La dimension verticale des vides entre lisses, panneaux, zone de stationnement normal ou précaire, dont la plus grande dimension est horizontale, doit être au plus égale à :

- 0,11 m pour ceux qui sont situés à une hauteur inférieure à 0,45 m par rapport à la zone de stationnement normal (voir figures 31 et 33),
- 0,18 m pour ceux qui sont situés à une hauteur supérieure ou égale à 0,45 m par rapport à la zone de stationnement normal (voir figures 32 et 33).



## 4.7 Synthèse des différentes solutions

Les 3 solutions ci-dessus étudiées présentent des avantages et des inconvénients que nous résumons dans un tableau ci-dessous basé sur 20 points essentiels donnant une note :

localisation		MOE	ATEX	ATEC	Avis de chantier	type vitrage	type vitrage	traitement	Hauteur de	poids vit.	poids profils	poids divers	G'	DPA ARCORA	
						estimé (épaisseur issue des simulations calculs)	retenu (épaisseur commercialisée suivant calculs)							scénario 1	
Jardin ext	scénario 1		OUI	NON	NON	feuilletée 45mm	15.15.15.1	PVB trempé HST	protection	3,4 m	394	30	15	439	5 259 497 €
	1	Avantages	Vitrage de 3,4m de haut												1
	2		Platelage va jusqu'au garde corps existant												1
	3		Les DEP existantes sont accessibles												1
	4	Inconvénients	Vitrage n'existant pas en France (provenance d'Amérique ou Asiatique)												1
	5		Besoin de déposer une Atex "faute" avec influence coût et surtout délais du fait des problématiques d'approvisionnement												1
	6		Vitrage calculé en 15.15.15 x trempé mais sans Avis technique												1
	7		Obligation de faire des essais conformément à la réglementation												1
	8		Poids très lourd du système, difficultés de mise en œuvre et SAV												1
	9		Encastrement ou forme compliquée quasiment impossible à faire sur de telles épaisseurs (risque de pertes importantes à la fabrication)												1
	10		Pas de certificat Cekal (fabrication hors France)												1
	11		Pas de trempé HST (fabrication hors France)												1
	12		La banquette est accessible à 0,90 de haut												1
	13		Difficulté d'approvisionnement surtout et de mise en œuvre pour le SAV												1
	14		Nécessité d'avoir des vitrages en stock pour palier le problème de manque de vitrage et notamment en SAV												1
	15		Obligation de protéger le PVB avec un petit profil												1
	16		En cas de casse du vitrage, il ne permet pas la protection résiduelle (le vitrage tombe)												1
	17		Complexité à réaliser les arrêts de verre servant de repère de charge qui doivent reprendre chacun 350 kg												1
	18		Moment encastrement trop important à ramener sur la structure brise soleil existante => obligation de renforcer par des éléments lourds en inox												1
	19		Moment encastrement trop important au droit de chaque montant de GC et très complexe à reprendre sans reprise en sous œuvre (240N.m)												1
	20		Etanchéité à modifier et à reprendre car les moments d'encastrement à reprendre vont induire la mise en œuvre d'éléments complexes												1
														NOTE	16
														AIA ING	
						estimé (épaisseur issue des simulations calculs)	retenu (épaisseur commercialisée suivant calculs)							scénario 1-A	
Jardin ext	scénario 1-A		NON	OUI	OUI	feuilleté 12.12.1	feuilleté 12.12.1	SGP trempé HST	protection	2,5 m	156	10	15	181	4 019 281 €
	1	Avantages	Vitrage produit en zone Européenne et commercialisation en France												1
	2		Vitrage préconisé en 12.12.1 SGP trempé HST - Vitrage sous ATEC												1
	3		Avis de chantier (pour les sabots de GC) possible et sinon Atex "normal" en s'appuyant sur des solutions déjà évaluées												1
	4		Vitrage avec certificat Cekal												1
	5		Vitrage avec trempé HST												1
	6		Vitrage sans problématique d'approvisionnement pour le SAV												1
	7		Vitrage assurant la protection résiduelle en cas de casse (ne tombe pas)												1
	8		Pas besoin de protéger ses tranches car résistant aux intempéries												1
	9		La "banquette" du garde-corps n'est plus accessible à 0,90 de haut												1
	10		Meilleure répartition des charges du fait de 2 appuis linéaires pour le vitrage												1
	11		Pas d'usinage du vitrage du fait de la non application espacement 11cm au-delà des 1m de hauteur (sous réserves validation bureau de contrôle)												1
	12		Moment encastrement (au droit du GC horizontal à +0.90) pas trop important à ramener sur la structure garde corps existante => prévoir renforts												1
	13		Poids relativement normal et sans trop de difficulté de mise en œuvre												1
	14		Conseillé d'avoir des vitrages en stock mais pas de problème d'approvisionnement												1
	15		Moment encastrement en pied de GC moins important au droit de chaque montant de GC mais avec renfort à prévoir												1
	16		Etanchéité à reprendre mais sans complexité et seulement en périphérie des nouveaux renforts												1
	17	Inconvénients	Vitrage de 2,5m de haut (hauteur ne suivant pas l'idée initiale)												1
	18		Platelage à recouper car ne va pas jusqu'au garde corps existant												1
	19		Les DEP existantes ne sont plus accessibles												1
	20		Obligation de faire des essais conformément à la réglementation												1
														NOTE	12
														AIA ING	
						estimé (épaisseur issue des simulations calculs)	retenu (épaisseur commercialisée suivant calculs)							scénario 1-B	
Jardin ext	scénario 1-B		NON	OUI	OUI	feuilleté 12.12.1	feuilleté 12.12.1	SGP trempé HST	protection	2,5 m	156	10	15	183	4 328 848 €
	1	Avantages	Vitrage produit en zone Européenne et commercialisation en France												1
	2		Platelage va jusqu'au garde corps existant												1
	3		Les DEP existantes sont accessibles												1
	4		Vitrage préconisé en 12.12.1 SGP trempé HST - Vitrage sous ATEC												1
	5		Avis de chantier (pour les sabots de GC) possible et sinon Atex "normal" en s'appuyant sur des solutions déjà évaluées												1
	6		Vitrage avec certificat Cekal												1
	7		Vitrage avec trempé HST												1
	8		Vitrage sans problématique d'approvisionnement pour le SAV												1
	9		Vitrage assurant la protection résiduelle en cas de casse (ne tombe pas)												1
	10		Pas besoin de protéger ses tranches car résistant aux intempéries												1
	11		La "banquette" du garde-corps n'est plus accessible à 0,90 de haut												1
	12		Meilleure répartition des charges du fait de 2 appuis linéaires pour le vitrage												1
	13		Pas d'usinage du vitrage du fait de la non application espacement 11cm au-delà des 1m de hauteur (sous réserves validation bureau de contrôle)												1
	14		Moment encastrement (au droit du GC horizontal à +0.90) pas trop important à ramener sur la structure garde corps existante => prévoir renforts												1
	15		Poids relativement normal et sans trop de difficulté de mise en œuvre												1
	16		Conseillé d'avoir des vitrages en stock mais pas de problème d'approvisionnement												1
	17		Etanchéité à reprendre mais sans complexité et seulement en périphérie des nouveaux renforts												1
	18		Moment encastrement en pied de GC moins important au droit de chaque montant de GC mais avec renfort à prévoir												1
	19	Inconvénients	Vitrage de 2,5m de haut (hauteur ne suivant pas l'idée initiale)												1
	20		Obligation de faire des essais conformément à la réglementation												1
														NOTE	16
														AIA ING	
						estimé (épaisseur issue des simulations calculs)	retenu (épaisseur commercialisée suivant calculs)							scénario 1-C	
Jardin ext	scénario 1-C		NON	Probable	OUI	feuilleté 18.19.1	feuilleté 12.12.12.1	SGP trempé HST	protection	3,4 m	315	10	15	340	5 177 953 €
	1	Avantages	Vitrage produit en zone Européenne et commercialisation en France												1
	2		Les DEP existantes sont accessibles												1
	3		Platelage va jusqu'au garde corps existant												1
	4		Vitrage avec certificat Cekal												1
	5		Vitrage avec trempé HST												1
	6		Vitrage assurant la protection résiduelle en cas de casse (ne tombe pas)												1
	7		Pas besoin de protéger ses tranches car résistant aux intempéries												1
	8		Meilleure répartition des charges du fait de 2 appuis linéaires pour le vitrage												1
	9		Pas d'usinage du vitrage du fait de la non application espacement 11cm au-delà des 1m de hauteur (sous réserves validation bureau de contrôle)												1
	10		Vitrage préconisé en 12.12.12.1 SGP trempé HST - Vitrage sous ATEC en cours de validation - Hauteur suivant idée initiale												1
	11	Inconvénients	Vitrage sans trop de problématiques d'approvisionnement pour le SAV si ce n'est le délai.												1
	12		La "banquette" du garde-corps existant est accessible à 0,90 de haut (stationnement possible)												1
	13		Obligation de faire des essais conformément à la réglementation												1
	14		Moment encastrement (au droit du GC horizontal à +0.90) important à ramener sur la structure garde corps existante => prévoir renforts adéquats												1
	15		Vitrage de 3,4m de haut. Cette hauteur contraint la fabrication car on ne peut faire qu'un seul volume de 3.4x1.8m dans un plateau de vitrage de 3.20x6.00m												1
	16		Si non obtention de l'avis technique (instruction en cours pour l'épaisseur 18mm) alors Atex pour vitrage + Atex dans tous les cas pour les sabots de GC												1
	17		Poids très lourd du système et difficulté de mise en œuvre												1
	18		Conseillé d'avoir des vitrages en stock pour palier le problème de délai en SAV												1
	19		Moment encastrement en pied de GC très important au droit de chaque montant de GC et très complexe à reprendre sans reprise en sous œuvre (240N.m)												1
	20		Obligation de reprendre les étanchéités du fait des moments d'encastrement important qu'il va falloir fixer à la dalle béton (relevé d'étanchéité à creux + plots béton)												1
														NOTE	-
														AIA ING	
Passerelle Int	scénario 2	DPA ARCORA	Probable	NON	OUI	feuilleté 12.12.1	feuilleté 12.12.1	SGP trempé HST	2,35 m	147	7	1	155	scénario 2	33 190 €
	scénario 2-A	AIA ING	NON	OUI	NON	feuilleté 8.8.1	feuilleté 8.8.1	SGP durci	2,35	50	10	15	75		
														TOTAL TOUTES PRESTATIONS	5 292 588 €

## 4.8 Prédimensionnement des solutions proposées pour le projet

Les 3 solutions AIA/EA ci-dessus ont été étudiées dans le cadre de la mission de diagnostic :

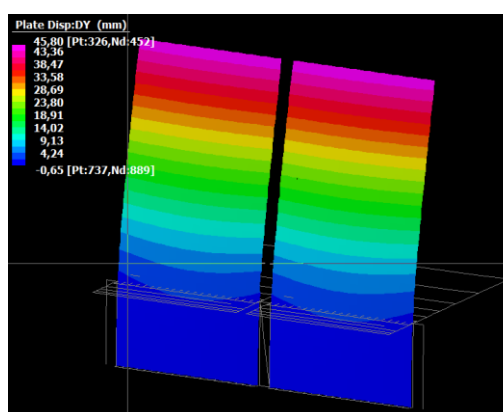
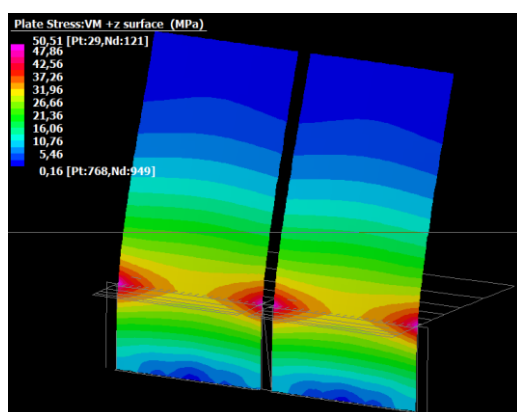
### Etude des vitrages

Selon la solution étudiée, un prédimensionnement du vitrage amène aux épaisseurs de verre suivantes, considérées en vitrages feuilletés avec un intercalaire Sentry GlassPlus (SGP)

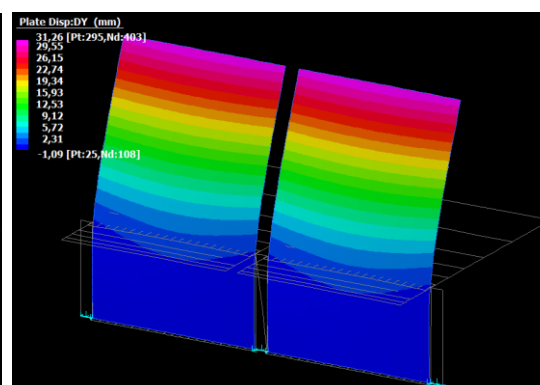
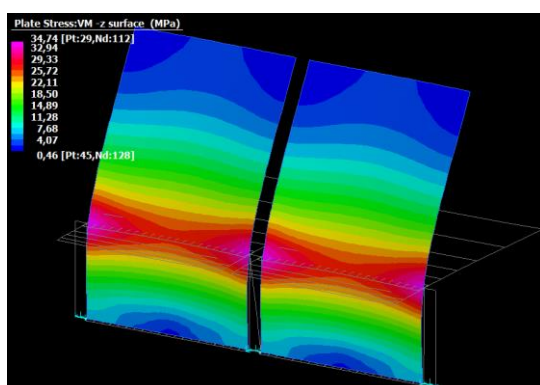
- Scénario 1-A : Vitrage à 2m50 depuis le sol, avec un appui horizontal linéaire à 0,9m : **feuilleté 2x12 SGP durci**
- Scénario 1-B : Vitrage à 2m50 depuis le sol, incliné vers la place, avec un appui horizontal linéaire à 0,9m : **feuilleté 2x12 SGP durci**
- Scénario 1-C : Vitrage de 3m40 + appui horizontal linéaire à 0,9m : **feuilleté 2x19 SGP Trempé**

Les hypothèses suivantes ont été considérées pour les calculs des vitrages, selon le cahier du CSTB n°3574\_v2 :

- Une flèche maximale  $< \text{Min}(2H/100 ; 50\text{mm})$  en tête ;
- Une contrainte limite sous le vent :
  - o Verre trempé  $< 65\text{MPa}$
  - o Verre durci  $< 40\text{MPa}$



Scénario 1-C) – Contraintes de Von-Mises sous ELU (g) et Flèche sous le vent (d)



Scénario 1-A) et 1-B) – Contraintes de Von-Mises sous ELU (g) et Flèche sous le vent (d)

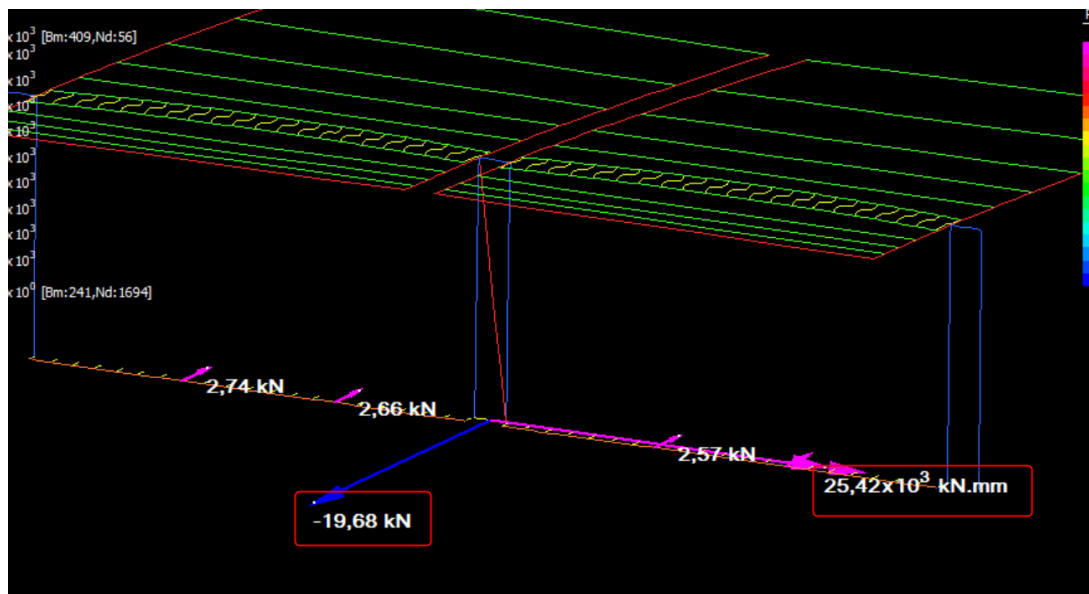
### Etude des ancrages pour le projet

Dans le cas du projet, avec ajout de vitrages, le vent est dimensionnant et il fonctionne dans les 2 sens (place vers jardin et jardin vers place). Le moment d'encastrement à reprendre en pied est presque identique dans les 2 sens (à l'effet de poussée de garde-corps près, qui est finalement secondaire par rapport au vent), donc toutes les tiges d'ancrage doivent travailler en traction.

Les tiges sans plaque d'ancrage côté vide ne peuvent donc suffire pour reprendre les effets de vent dans le sens jardin vers place, quelle que soit les choisies.

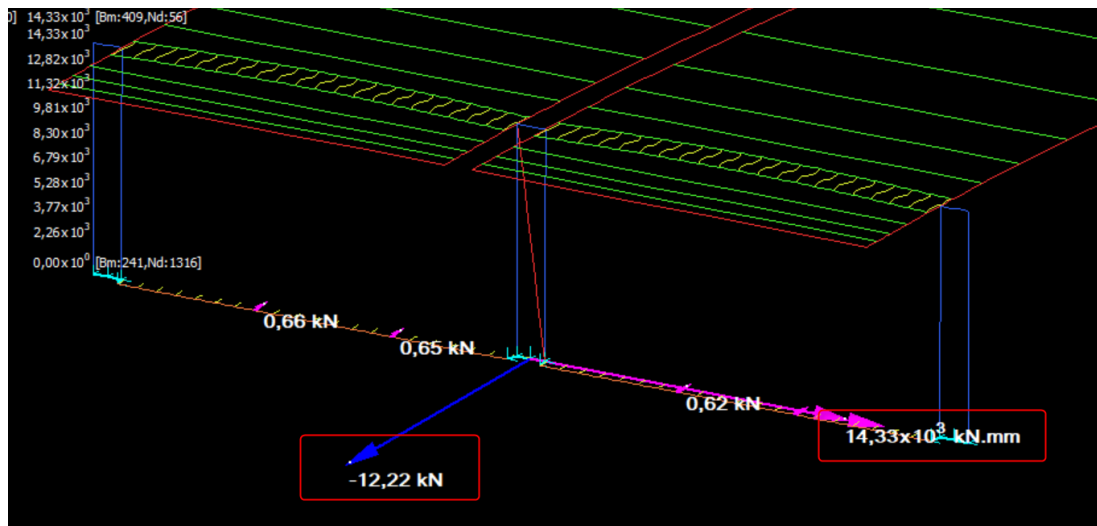
A partir de modèles globaux de calcul (ossature en acier + vitrage), on détermine les descentes de charges ELU au droit des ancrages existants :

- Le scénario 1-C) amène des efforts sur l'ancrage existant élevés :
  - $F_{y,ELU} = 20\text{kN}$
  - $M_{x,ELU} = 25\text{kN.m}$



- Les scénarios 1-A) et 1-B) amènent des efforts sur l'ancrage existant plus réduits (environ divisés par 1.7) :
  - $F_{y,ELU} = 12\text{kN}$
  - $M_{x,ELU} = 14\text{kN.m}$





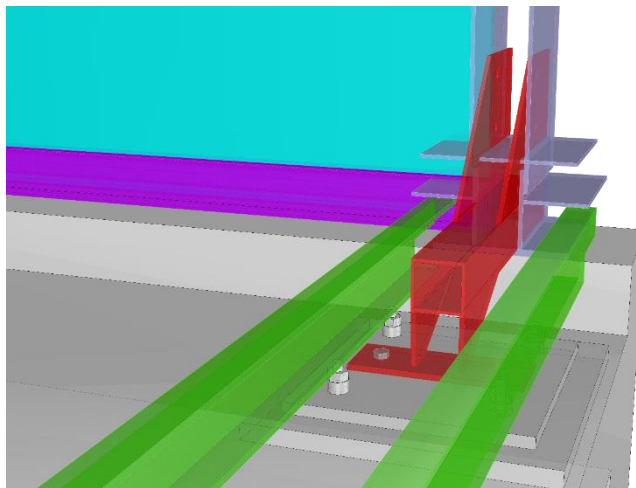
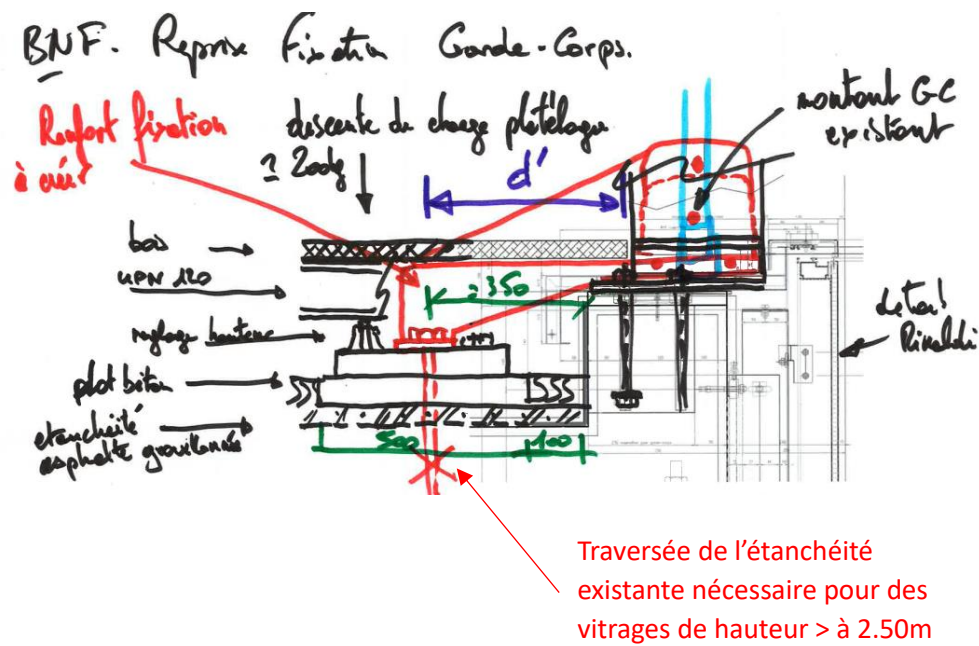
Selon les solutions les taux de travail maximaux en traction par ancrage sont les suivants :

- Scénario 1-C) les efforts de traction ELU max par tige sont :  

$$Ft/tige = Mx / (2 \times d) = 25 / (2 \times 0.12) = 104 \text{ kN} = 5.8 \times \text{capacité tige sans plaquettes} = 1.7 \times \text{capacité tige avec plaquette}$$
- Scénarios 1-A) et 1-B) : on arrive à  $Ft/tige = Mx / (2 \times d) = 14 / (2 \times 0.12) = 58 \text{ kN} = 3.2 \times \text{capacité tige sans plaquettes} = 0.97 \times \text{capacité tige avec plaquette}$

En conclusion, on observe que quelle que soit la solution choisie pour le projet, les effets du vent sur les vitrages ajoutés amènent des charges en plus qui augmentent les valeurs des efforts perçus en pied au droit de l'ancrage par rapport à la capacité de l'existant. **Il est donc nécessaire de renforcer ou de soulager les ancrages existants.**

La solution de renforcement proposée permet d'augmenter la largeur d'ancrage (élargissement de la platine d'ancrage au droit des montants existants) et donc d'améliorer la distance « d' » entre tiges d'ancrage (2x2 tiges d'ancrage, en négligeant l'effet des tiges existantes sans plaque) et ainsi diminuer les efforts de traction repris par ces dernières :



La solution de renforcement est viable pour les 3 solutions proposées :

- Scénario 1-C) :
  - Moment à reprendre  $M_x = 25\text{kN.m}$
  - $F_t, E_d = M_x / d' / 2$
  - donc  $d' > M_x / F_t, R_d / 2 = 25 / 60 / 2$  soit  $d' > 0.21\text{m}$
- Scénario 1-A) et 1-B) :
  - Moment à reprendre  $M_x = 14\text{kN.m}$
  - $F_t, E_d = M_x / d' / 2$
  - donc  $d' > M_x / F_t, R_d / 2 = 14 / 60 / 2$  soit  $d' > 0.12\text{m}$

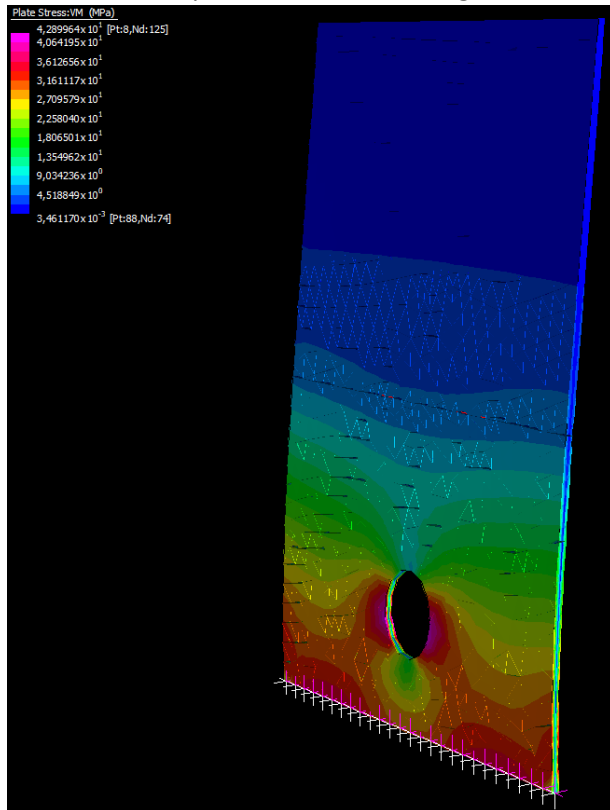
### 5.1. Rappel et critique solution DPA/ARCORA – Scénario 2 :



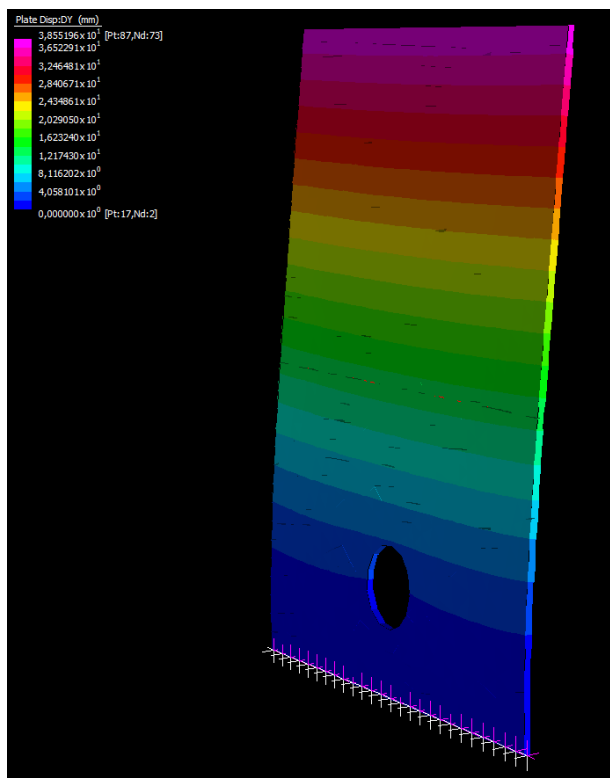
- Cette solution oblige de modifier le sol en inox en créant une réservation de 20cm de large sur tout le linéaire de part et d'autre de la passerelle. Cette réservation remettra en cause le plancher inox actuel et notamment tout le système d'ossature support et de répartition des charges d'exploitations.
- De plus cette réservation percutera les sabots de fixation des ossatures des parapets garde-corps actuels qui sont fixés sur les dalles de passerelles. Il faudrait alors s'en éloigner encore plus ce qui amènerait la réservation à 40cm avec pour conséquence de réduire encore plus le passage utile de la passerelle.
- Le nettoyage de la face extérieure du vitrage ne sera pas envisageable car l'espace entre le parapet inox et le vitrage de 180 mm n'est pas suffisant pour mettre l'utilisation d'un robot professionnel. Le nettoyage serait risqué en faisant monter un opérateur sur un échafaudage depuis la passerelle afin qu'il puisse passer les bras au-dessus du garde-corps avec une perche à raclette. Le nettoyage des poussières ou autres derrière ces vitrages de garde-corps sera tout autant complexe à réaliser avec un risque accru de voir des accumulations avec le temps.
- Les vitrages devront avoir une découpe importante dans une zone sensible et tendue de leurs structures aux risques de les affaiblir considérablement pour un tel système de vitrage encastré en pied. Pour compenser cette découpe, si elle est possible, les vitrages devront avoir une épaisseur suffisante pour résister convenablement.
- Avec ces dispositions de contraintes de réservation vues ci-dessus nous pouvons estimer et maximiser le dimensionnement à une épaisseur de 2 fois 12 mm en feuilleté SGP ce qui ramène une descente de charge linéaire de 170 kg/ml de part et d'autre des passerelles alors qu'elles ont une surcharge  $G'$  de 350Kg/m<sup>2</sup>. Il faudrait équilibrer les charges  $G'$  avec cette nouvelle charge et réduire d'autant l'actuelle.
- Les passerelles publiques doivent respecter dans tous les cas un passage libre de 2400 soit 4 UP, ce qui est déterminant pour le positionnement de la lignée garde-corps.

### Résultat de cette faisabilité :

- En prenant les hypothèses de contrainte ELU vent 400 PA (intérieur) + poussée GC de 1 kN/m à 1,1m :  $< 45 \text{ Mpa}$ , on obtient un vitrage en 1212.1 SGP trempé HST











- La Flèche ELS = 39 mm en tête

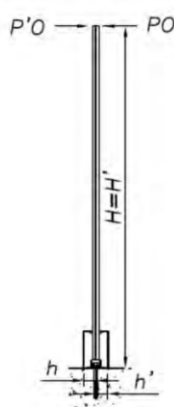




Pour réaliser cette configuration, l'utilisation de profil de garde-corps en verre encastré en pied sous Avis Technique type SABCO 2.0 serait préconisé. L'AT 2.1-22-1829\_V1 en vigueur de SADEV permet cette utilisation en termes de charge néanmoins la hauteur de 2,35m de haut n'est pas conventionnelle et n'est pas inscrite dans cet AT. Il faudrait argumenter avec le bureau de contrôle avec condition de faire des essais aux sacs pour un avis de chantier.

Charges d'exploitations	Catégories	sur dalle			sur dalle déportée	sur dalle déportée inversée
0,6 kN/ml	A, B					
1 kN/ml	C1 à C4, D	<b>SW – 8050</b> (ou sur acrotère)			<b>7017</b>	<b>7017R</b>
3kN/m	C5					

#### 2.3.2.1. Cas du système SW - 8050 / 7030 / 7010/ 7018 / 7019



**Figure 12 – Dimensionnement des chevilles de fixation pour le système SW - 8050 / 7030 / 7010/ 7018 / 7019**

Les efforts de traction et de cisaillement à considérer pour le dimensionnement des fixations sont obtenus par les formules du tableau suivant :

Effort vers l'extérieur :	
Effort de traction	$k_1, k_2, \frac{1,5.P_0.L.H'}{n.h'}$
Effort de cisaillement	$k_1, \frac{1,5.P_0}{n}$
Effort vers l'intérieur :	
Effort de traction	$k_1, k_2, \frac{1,5.P'_0.H}{n.h}$
Effort de cisaillement	$k_1, \frac{1,5.P'_0}{n}$

**Tableau 8 – Calcul des efforts à l'ELU (en daN) des chevilles de fixation pour pose sur dalle**

Avec :

- n : le nombre de fixations actives (en traction ou en cisaillement sous l'action des charges d'exploitation)
- Po : la charge d'exploitation par mètre linéaire, charge appliquée de l'intérieur vers l'extérieur, (non pondérée) en daN/m
- P'o : la charge d'exploitation de 40 daN, charge appliquée de l'extérieur vers l'intérieur, (non pondérée)
- L : la largeur du garde-corps, en m
- H : la hauteur du point d'application de la charge au point bas de la platine de fixation, en m
- H' : la hauteur du point d'application de la charge au-dessus de la dalle béton, en m
- Dans le cas d'une pose sur dalle, H=H'
- h : la distance de la fixation au bord du profil, en m
- h' : la distance de la fixation au bord du profil, en m
- k1 : coefficient de répartition fonction un nombre de fixations (cf. Tableau 14)
- k2 : coefficient de majoration (k2 = 8/7) lié à la zone en compression sur le gros œuvre

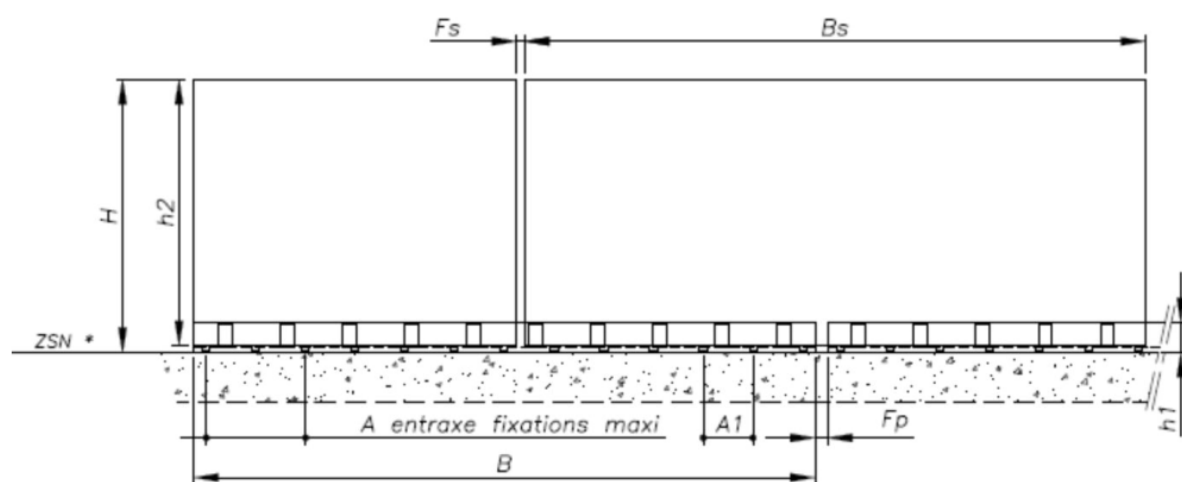
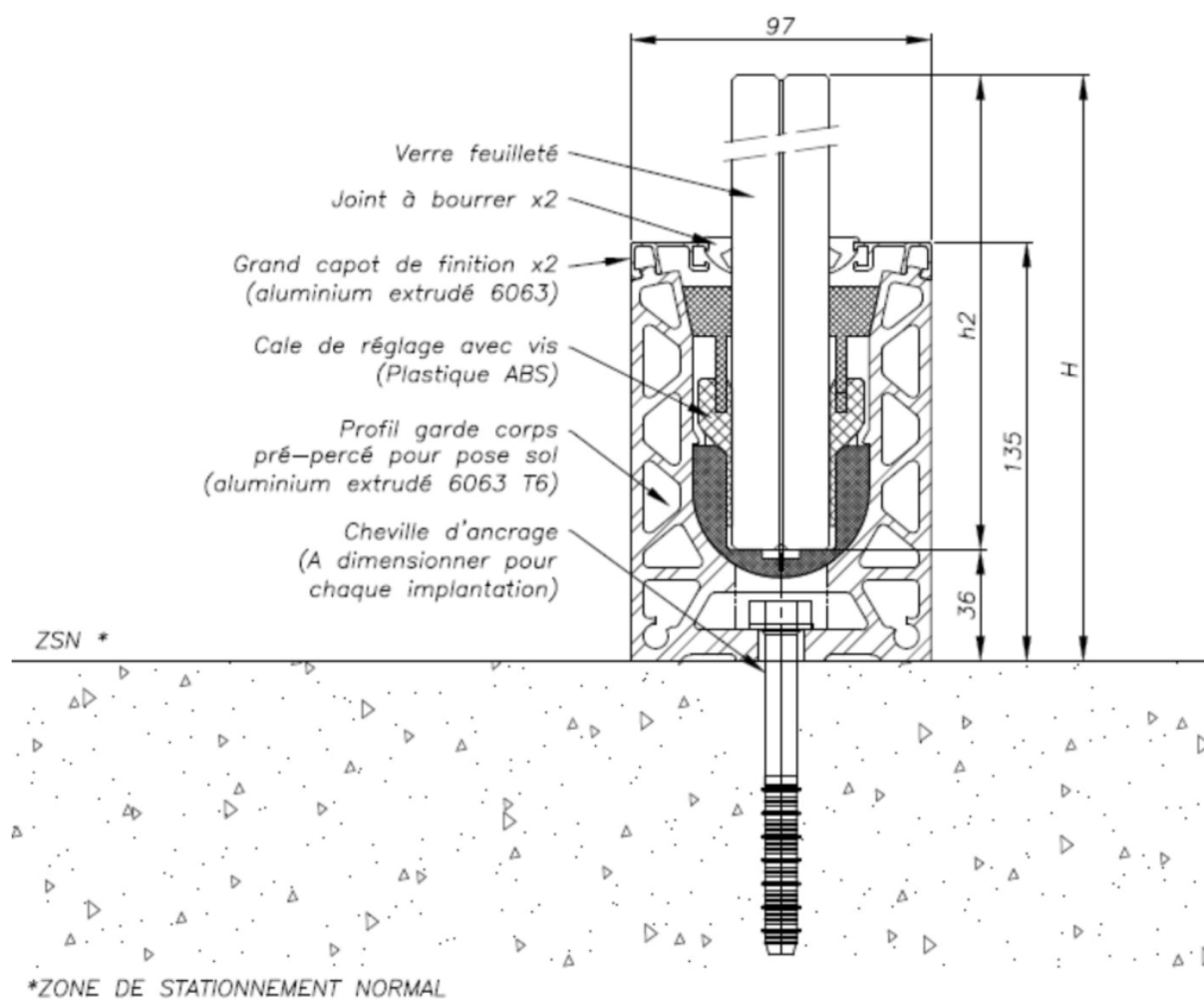


Figure 23 – Pose sur dalle – Modèle 7018

Charges normales	Composition	Catégories selon NF EN 1991-1 et 1991-2, et PR NF P 06-111-2/A1	Nombre de cales	Entraxe chevilles maxi	Largeur minimale (mm)
<b>Pose sur dalle – 7018 avec cales double side</b>					
0,6 kN/m ( $P_n = 1\,212\text{ Pa}$ )	1515.4 PVB HST	A, B	8 cales / ml	200 mm	1000 mm
1,0 kN/m ( $P_n = 2\,018\text{ Pa}$ )	1515.4 PVB HST	C1 à C4, D	8 cales / ml	200 mm	1000 mm
3,0 kN/m ( $P_n = 6\,054\text{ Pa}$ )	1515.4 PVB HST	C5	8 cales / ml	200 mm	1000 mm
Catégories d'utilisation A : habitations, zones résidentielles (par ex. maisons d'habitation, cuisines, chambres et salles d'hôpitaux, d'hôtel et foyers) ; B : bureaux ; C1 : lieux de réunion équipés de tables (par ex. : écoles, café, restaurants, salles de banquet, de réception ou de lecture) ; C2 : lieux de réunion équipés de sièges fixes (par ex. : théâtre, salle de conférences, salle de réunion) ; C3 : lieux de réunion ne présentant pas d'obstacle à la circulation des personnes (par ex. : salle d'exposition, gares, hôtel) ; C4 : lieux de réunion permettant des activités physiques (par ex : salle de gymnastique, scènes) ; C5 : lieux de réunion susceptibles d'accueillir des foules importantes (par ex. : salle de concert, salle de sport, tribunes, quai de gare...) ; D : commerces (par ex. commerces de détails courants et grands magasins).					
Pression du Vent Pour les garde-corps extérieurs soumis à des charges de vent, il est nécessaire de vérifier l'équation : $W_{50}(ELS) \cdot C_{p,net} \leq W_{max}(ELS)$ Avec : $W_{max}(ELS) = P_n$ pression correspondante à la charge de vent ELS au sens de l'Eurocode : pour catégorie 0,6 kN/m $P_n = 1\,212\text{ Pa}$ , pour catégorie 1,0 kN/m $P_n = 2\,018\text{ Pa}$ , pour catégorie 3,0 kN/m $P_n = 6\,054\text{ Pa}$ . $C_{p,net}$ coefficient de pression nette calculé suivant l'Eurocode 1 (NF EN 1991-1-4/NA). $W_{50}$ : pression dynamique de pointe calculée avec une vitesse de référence du vent correspondant à une probabilité annuelle de dépassement égale à 0,02 (événement de période de retour égale à 50 ans).					

**Tableau 29 – Largeurs minimales (m) au regard de la déformation, de la résistance aux chocs et de la résistance sous charge horizontale – Pose sur dalle – 7018**

Caractéristique		Valeur (mm)
Largeur maximale du vitrage	$B_s$	<b>5 000</b>
Hauteur maximale du système par rapport au sol fini	$H$	<b>1100</b>
Hauteur maximale du vitrage	$h_2$	<b>1064</b>
Hauteur du profilé aluminium (feuillure + joint)	$h_1$	<b>135</b>
Distance maximale entre deux fixations	$A$	<b>200</b>
Longueur maximale du profilé aluminium	$B$	<b>5 000</b>
Joint minimal entre deux vitrages	$F_s$	<b>5</b>
Joint maximal entre deux vitrages	$F_s$	<b>110</b>
Joint maximal entre deux profilés aluminium	$F_p$	<b>100</b>

**Tableau 30 – Caractéristiques des garde-corps filants fixés sur dalle – 7018**

### Conclusion sur cette faisabilité de DPA/ARCORA :

- Les surcharges sur  $G'$  à ramener sur la structure béton seraient de 147 kg/m pour le vitrage seul et 10kg/m pour le profil compris fixations soit 157 kg/m et à ce stade nous prendrons 160 kg/m (de chaque côté).  
Par conséquent il faudrait alléger d'autant la surcharge  $G'$  ou bien faire un état des lieux exact des charges  $G'$  actuellement utilisées.
- Cette sécurisation par garde-corps vitré encastré en pied constitue un ouvrage non traditionnel et n'est pas cadré par l'avis technique en vigueur de Sadev. Avec les usinages pour l'entretien des luminaires et avec l'utilisation en ERP, cet ouvrage devra faire l'objet d'une justification expérimentale (ATEX) selon le cahier du CSTB n°3034-V3.

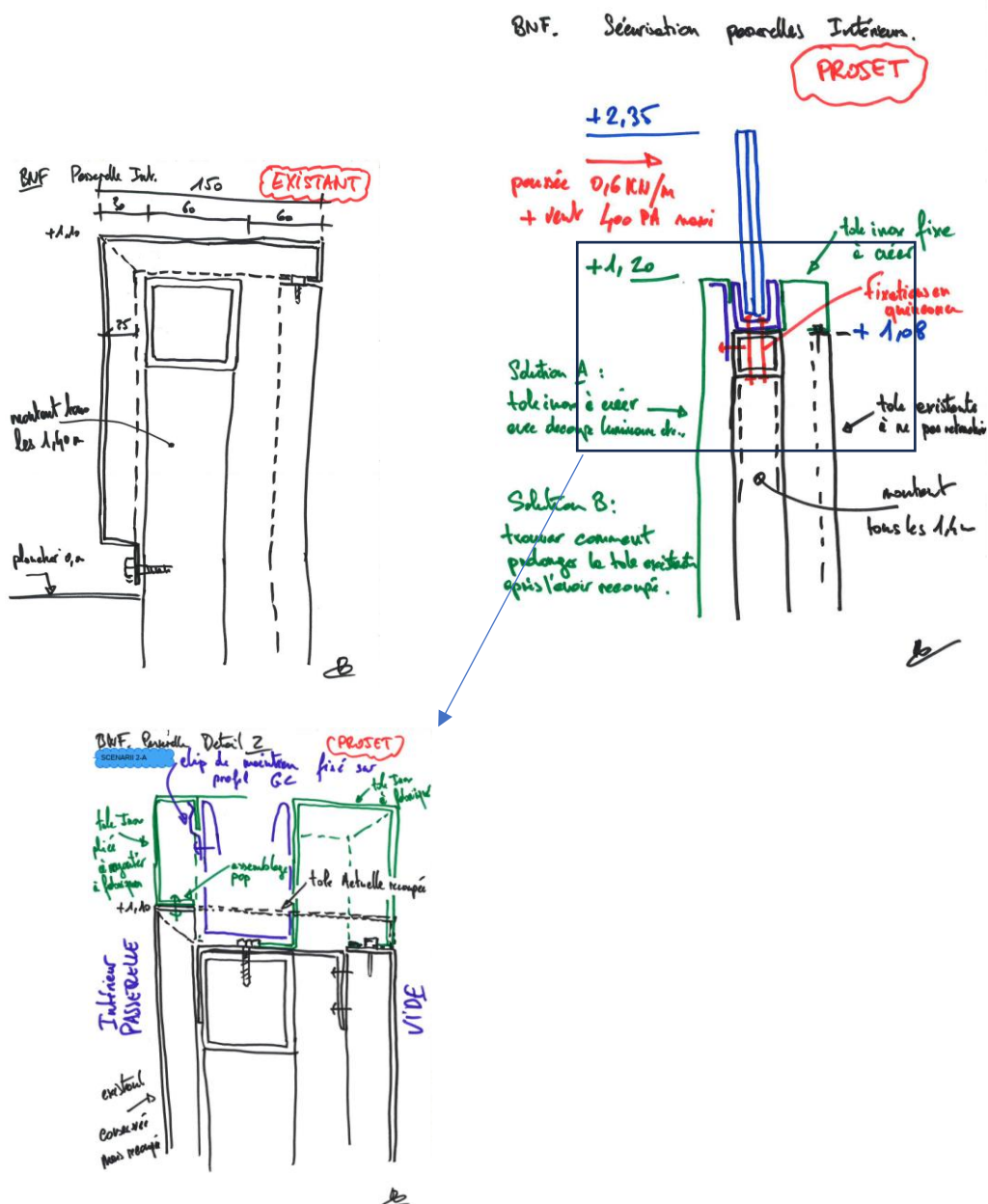
## 5.2. Sécurisation passerelle intérieure préconisée par AIA/AE

La solution que préconise AIA Ingénierie pour la sécurisation des passerelles intérieures est de se reprendre sur la poutre échelle en tube acier galva et de poser dessus un profil de garde-corps vitré encastré en pied sous avis technique type Sadev.

Les efforts de garde-corps principaux restent inchangés à l'existant et sont repris par le système d'habillage tôle inox et ossature acier galva formant le parapet des passerelles intérieures.

Le système vitrage rajouté sur la lisse du parapet ne reprend que très peu d'effort dans cette configuration faisant bien plus office de remplissage dissuasif que de garde-corps.

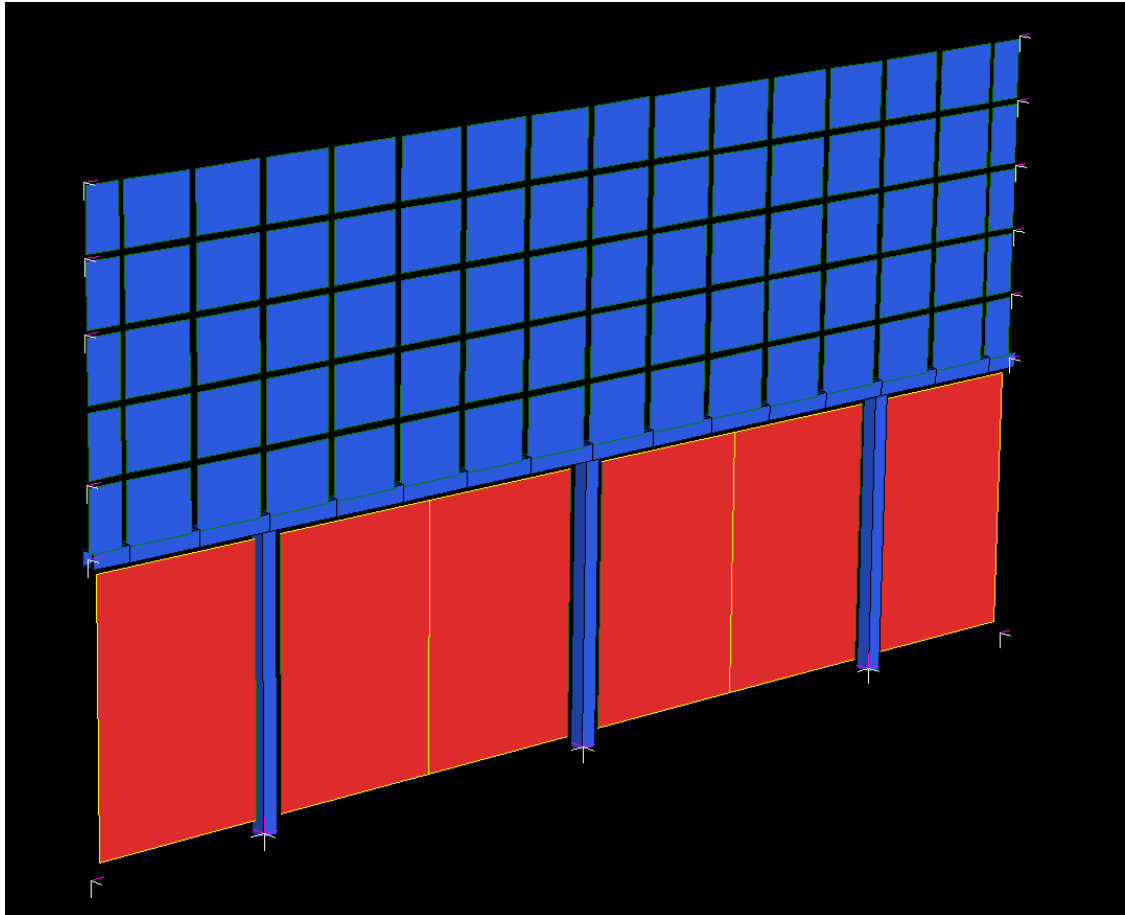
- Vitrage d'environ 1m15 + sabot de 120mm de hauteur = 1.27m tot (soit  $htot = 1.27 + 1.08 = 2.35m$ , avec 1.08m l'arase sup du tube acier intérieur, voir ci-dessous croquis :



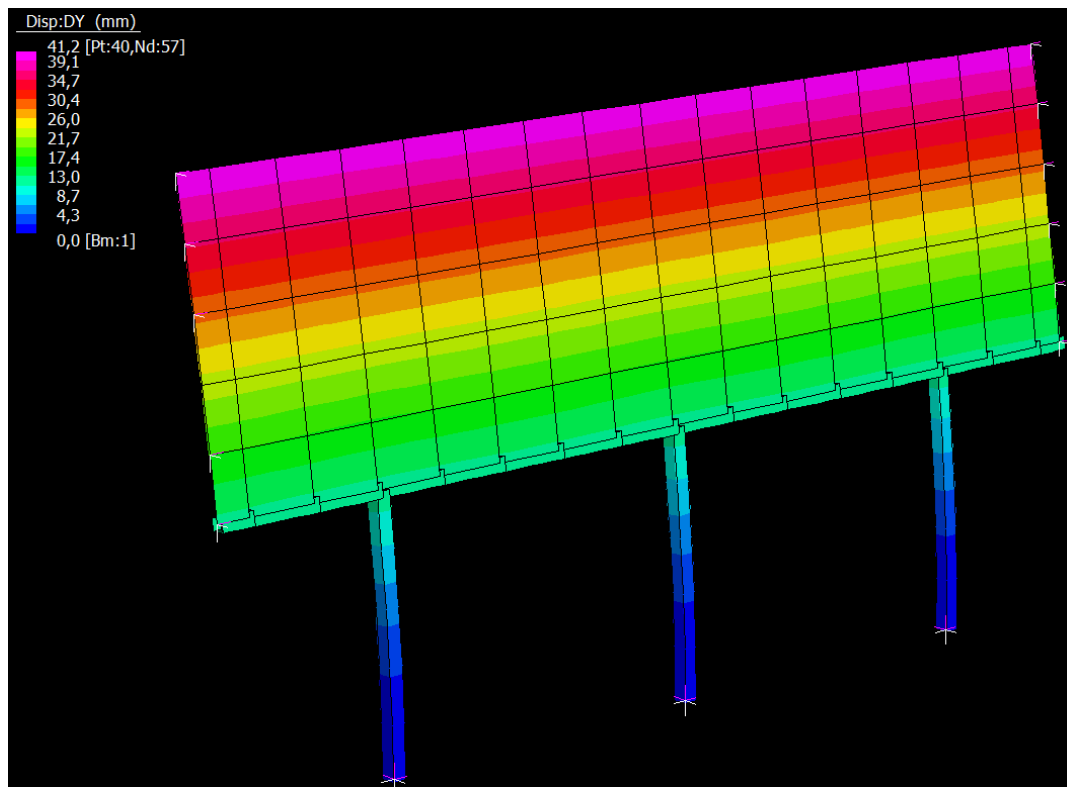


Un modèle de calcul aux éléments finis permet d'appréhender le dimensionnement de cette solution avec les hypothèses suivantes :

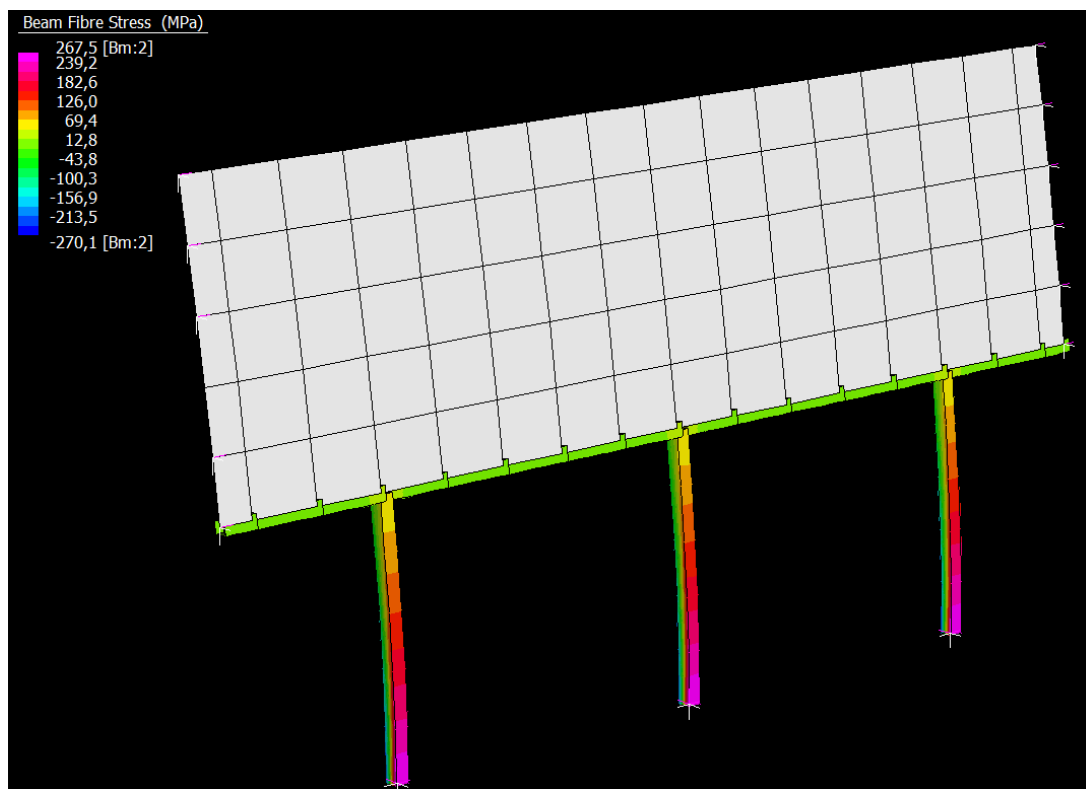
- Montants en tubes acier 60x60x4 tous les 1m50, encastrés en pied
- Traverse haute reliant les montants à 1m10 de hauteur (axe)
- Vitrage feuilleté au-dessus en ép équivalente 88.1 SGP sur 1m25 (ok selon AT Sabco).



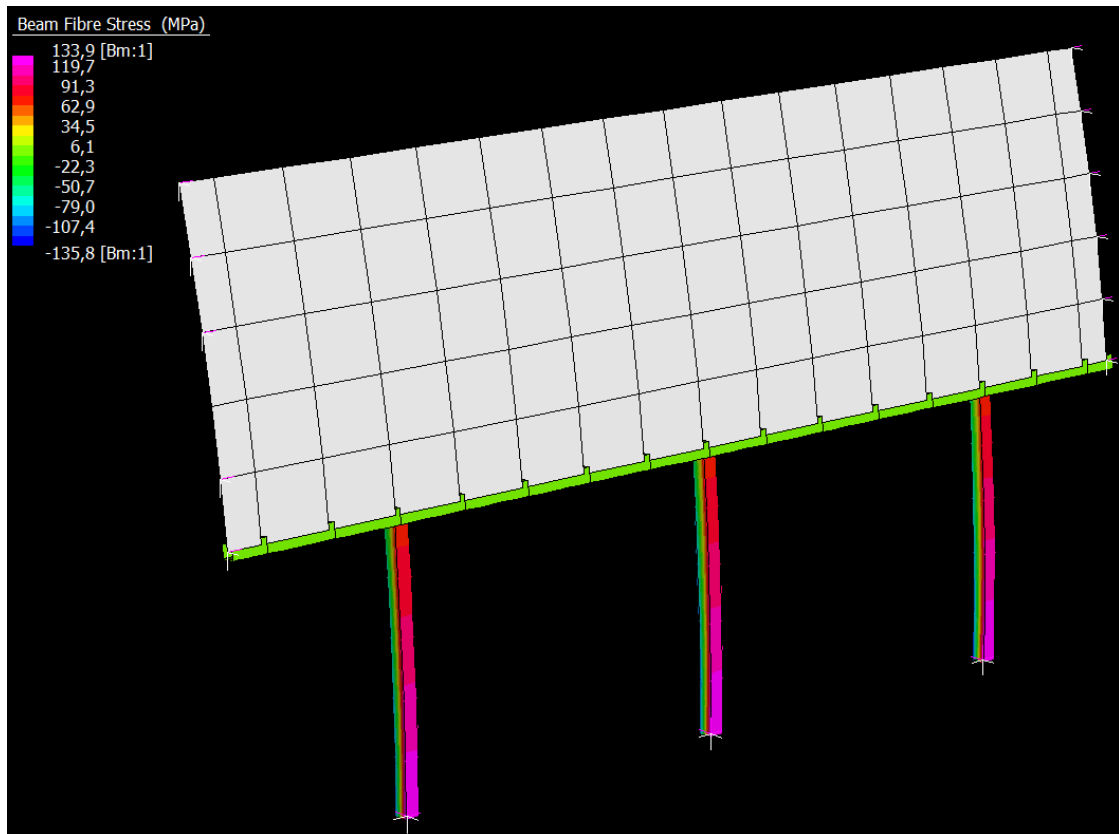
- Chargements considérés :
  - « CP » = Poids propre
  - « Vent » = Vent uniforme 400Pa
  - « GC » = Poussée de GC normale sur la traverse à 1m10 de 1.0kN/m
  - « GC,ac » = Poussée GC accidentelle sur la rive haute du vitrage à 2m35 de 0.6kN/m
- Combinaisons :
  - ELS caract : « CP+Vent+0.7GC » et « CP+0.6Vent+GC »
  - ELU : « 1.35CP+1.5Vent+1.05GC » et « 1.35CP+0.9Vent+1.5GC »
  - ELA (accidentel) : « CP+GC,acc »
- Résultats :
  - Flèche ELS totale à 2m35 :  $w=41.2\text{mm} < \text{Min}(2H/100 ; 50\text{mm}) = 47\text{mm}$



- Contraintes structure acier :  $\sigma_{max} = \sigma_{elas} \times W_{el}/W_{pl} = 270.1 \times 15690/18848 = 225 \text{ MPa} < f_y = 235 \text{ MPa}$



- Contraintes structure acier / Accidentel :  $\sigma_{\max} = 136\text{MPa} < f_y = 235\text{MPa}$



- Conclusions :

- Comportement global en flèche et contraintes de la structure existante avec vitrages et charges additionnelles = validé
- Mais, contrôle de l'assemblage d'encastrement en pied des structures en acier à vérifier selon détails de pied non connus à ce jour.  
Ce contrôle, avant toute fabrication, se fera par un démontage sur existant permettant l'évaluation exacte avec prise de dimensions, géométries puis calculs en fonction de ces éléments. Ces éléments permettront de concevoir les besoins précis de renforcements de la structure en ossature métallique.

## 6. Approche économique des travaux :

### 6.1 Prestation 1 – sécurisation du jardin central

Dépose de l'existant :

- Mise en place d'une clôture de protection et sécurisation du périmètre
- Relevé sur site et constat d'huissier avant travaux
- Dépose des modules bois camion grue
- Transport et stockage en atelier des modules de platelage dans la zone du parvis
- Expertise platelage en atelier pour modification.
- Nettoyage et expertise des étanchéités avec constat d'huissier avec mise en eaux pour déceler les fuites éventuelles indépendantes du projet.

Fourniture et pose des renforts de montants de GC :

- Modification des plots supports des modules de platelage
- Enlèvement des câbles inox sur garde-corps existant
- Fourniture et pose des renforts sur montant GC et sur plots supports compris fixations chimiques
- Reprises d'étanchéités des nouvelles fixations si besoin
- Nettoyage des garde-corps existants

Fourniture et pose des profils support de verre Garde-corps :

- Fourniture et pose d'une poutre béton servant de support au profil Sadev, compris fixations si besoin comme dans la solution 1-A
- Fourniture et pose de profil type Sadev en partie basse, compris fixation sur la poutre ci-dessus
- Fourniture et pose de profil intermédiaire à fixer sur GC existant à +0,9m , compris fixation et/ou modification des GC existants

Fourniture et pose verre garde-corps :

- Fourniture et pose au camion ventouse des volumes en vitrage selon calcul des dimensions
- Collage VEC sur support intermédiaire.
- Nettoyage des vitrages en fin de chantier

Repose des modules de platelage :

- Modification en atelier des modules suivant besoin.
- Reprise ou réparation des étanchéités aux besoins, et vérification
- Nettoyage avant fermeture
- Repose des modules de platelage au camion grue.

Nettoyage en fin de chantier, réception et repli des clôtures de protection

DPGF – Définir le périmètre d'intervention exact : ATEX ou Avis de chantier à quantifier

Qté de 2 longueurs de 202 ml sur les grandes travées

Qté de 2 largeurs de 58 ml sur les petites travées en contre-bas

Qté 6 ouvrants de maintenance et accès pompiers

Qté 4 ensembles d'extrémités avec retournement



## PHASE DIAGNOSTIC - APPROCHE ECONOMIQUE

localisation	MOE	ATEX	ATEC	Avis de chantier	type vitrage estimé	type vitrage retenu	traitement	Hauteur de protection	poids vit, kg/ml	poids profils kg/ml	poids divers kg/ml	G' kg/ml
Jardin ext	scénario 1	DPA ARCORA	OUI	NON	NON	feuilletée 45mm	PVB trempé HST	3,4 m	394	30	15	439
	scénario 1-A	AIA ING	NON	OUI	OUI	feuilleté 12.12.1	SGP trempé HST	2,5 m	156	10	15	181
	scénario 1-B	AIA ING	NON	OUI	OUI	feuilleté 12.12.1	SGP trempé HST	2,5 m	158	10	15	183
	scénario 1-C	AIA ING	NON	Probable	OUI	feuilleté 19.19.1	SGP trempé HST	3,4 m	315	10	15	340

			qte	long	qte	larg	total	pu/ml	total
Jardin ext	scénario 1	vit + prof	2	202	2	58	520	4 439,18 €	2 308 374,64 €
	DPA ARCORA	ouv maint	4		2		6	5 000,00 €	30 000,00 €
		renfort GC	230		100		330	800,00 €	264 000,00 €
		reprise boîte à eaux	2	202	2	58	520	440,00 €	228 800,00 €
		transport - levage							283 117,46 €
		depose, modif, repose platelage	2	505	2	145	1300	600,00 €	780 000,00 €
		nettoyage GC existant	2	1495	2	429	3848	50,00 €	192 400,00 €
		reprise d'étanchéité + plot béton ou poutre	2	202	2	58	520	500,00 €	260 000,00 €
		Frais de chantier - protection							434 669,21 €
		Aléas divers méconnaissance							478 136,13 €
								<b>TOTAL</b>	<b>5 269 497 €</b>
Jardin ext	scénario 1-A	vit + prof	2	202	2	58	520	2 420,00 €	1 258 400,00 €
	AIA ING	ouv maint	4		2		6	5 000,00 €	30 000,00 €
		renfort GC	230		100		330	800,00 €	264 000,00 €
		reprise boîte à eaux	2	202	2	58	520	440,00 €	228 800,00 €
		transport - levage							178 120,00 €
		depose, modif, repose platelage	2	505	2	145	1300	700,00 €	910 000,00 €
		nettoyage GC existant	2	1495	2	429	3848	50,00 €	192 400,00 €
		reprise d'étanchéité + plot béton ou poutre	2	202	2	58	520	500,00 €	260 000,00 €
		Frais de chantier - protection							332 172,00 €
		Aléas divers méconnaissance							365 389,20 €
								<b>TOTAL</b>	<b>4 019 281 €</b>
Jardin ext	scénario 1-B	vit + prof	2	202	2	58	520	2 640,00 €	1 372 800,00 €
	AIA ING	ouv maint	4		2		6	5 000,00 €	30 000,00 €
		renfort GC	230		100		330	800,00 €	264 000,00 €
		reprise boîte à eaux	2	202	2	58	520	440,00 €	228 800,00 €
		transport - levage							189 560,00 €
		depose, modif, repose platelage	2	505	2	145	1300	800,00 €	1 040 000,00 €
		nettoyage GC existant	2	1495	2	429	3848	50,00 €	192 400,00 €
		reprise d'étanchéité + plot béton ou poutre	2	202	2	58	520	500,00 €	260 000,00 €
		Frais de chantier - protection							357 756,00 €
		Aléas divers méconnaissance							393 531,60 €
								<b>TOTAL</b>	<b>4 328 848 €</b>
Jardin ext	scénario 1-C	vit + prof	2	202	2	58	520	4 185,00 €	2 176 200,00 €
	AIA ING	ouv maint	4		2		6	5 000,00 €	30 000,00 €
		renfort GC	230		100		330	800,00 €	264 000,00 €
		reprise boîte à eaux	2	202	2	58	520	440,00 €	228 800,00 €
		transport - levage							269 900,00 €
		depose, modif, repose platelage	2	505	2	145	1300	600,00 €	780 000,00 €
		nettoyage GC existant	2	1495	2	429	3848	50,00 €	192 400,00 €
		reprise d'étanchéité + plot béton ou poutre	2	202	2	58	520	650,00 €	338 000,00 €
		Frais de chantier - protection							427 930,00 €
		Aléas divers méconnaissance							470 723,00 €
								<b>TOTAL</b>	<b>5 177 953 €</b>

coût estimé				MOE	Conclusions - Remarques
DPA ARCORA	AIA ING	AIA ING	AIA ING	scénario 1	DPA ARCORA
scénario 1					il existe pas en SGP, donc si vitrage cassé, plus de protection résiduel. Fabrication du vitrage en Amérique, donc délai très long et problème SAV => ATEX
	scénario 1-A			scénario 1-A	AIA ING
	4 019 281 €				Vitrage sous ATEC standard - cette solution est la meilleure compromise
		scénario 1-B		scénario 1-B	AIA ING
		4 328 848 €			Vitrage sous ATEC standard - les EP sont accessibles, le platelage va jusqu'au vitrage mais pas derrière mais vitrage de biais
			scénario 1-C	scénario 1-C	AIA ING
			5 177 953 €		Campagne de fabrication spécifique 1 à 2 fois/an en 19.19 à remplacer par 12.12.12 - Vitrage sous ATEC non standard

## 6.2 Prestation 2 – sécurisation des passerelles cathédrales

Dépose de l'existant :

- Mise en place d'une clôture de protection et sécurisation du périmètre
- Relevé sur site et constat d'huissier avant travaux
- Dépose des protections provisoires actuellement mises en place
- Transport et évacuation aux recyclages.
- Dépose des cassettes intérieures en Inox.
- Dépose ou Mise en sécurité des éclairages qui restent en place par électricien
- Transport pour recyclage des cassettes inox ou réemploi
- Expertise de l'ossature acier galva existante et relevés
- Etat des lieux des surcharge G'

Fourniture et pose des profils support de verre Garde-corps :

- Fourniture et pose des renforts sur montant GC ou lisses
- Reprises des renforts en pieds suivant si besoin de renforcer
- Fourniture et pose de profil type Sadev sur la lisse de charpente

Fourniture et pose verre garde-corps :

- Fourniture et pose au palonnier à ventouse des volumes en vitrage selon calcul des dimensions
- Nettoyage des vitrages en fin de chantier

Repose des habillages et cassettes :

- Fabrication en atelier des nouvelles cassettes et des pliages de finition
- Repose des éclairages par électricien et mise en conformité
- Nettoyage avant fermeture

Nettoyage en fin de chantier, réception et repli des clôtures de protection

DPGF – Définir le périmètre d'intervention exact : ATEX ou Avis de chantier à quantifier

Qté de 2 longueurs de 9,50 ml sur chaque passerelle soit 4 x 2 x 9,50 ml

## PHASE DIAGNOSTIC - APPROCHE ECONOMIQUE

			qte	long	developpé	total	pu/ml	total
Passerelle Int	scénario 2	vit + prof	8	10		80	1 716,00 €	137 280,00 €
DPA ARCORA		decoupe plancher	8	10		80	100,00 €	8 000,00 €
		renfort GC	8	10		80	200,00 €	1 600,00 €
		refaire cassette inox	8	10	2	160	660,00 €	105 600,00 €
		transport - levage						25 248,00 €
		depose cassette existante	8	10		80	100,00 €	8 000,00 €
		reprise plancher	8	10		80	200,00 €	16 000,00 €
		Frais de chantier - protection						30 172,80 €
		Aléas divers méconnaissance						33 190,08 €
TOTAL								365 091 €
Passerelle Int	scénario 2-A	vit + prof	8	10		80	880,00 €	70 400,00 €
AIA ING		decoupe plancher						- €
		renfort GC	8	10		80	200,00 €	1 600,00 €
		refaire cassette inox	8	10	2	160	660,00 €	105 600,00 €
		transport - levage						17 760,00 €
		depose cassette existante	8	10		80	100,00 €	8 000,00 €
		reprise plancher						- €
		Frais de chantier - protection						20 336,00 €
		Aléas divers méconnaissance						22 369,60 €
TOTAL								246 066 €
scénario 2					scénario 2	DPA ARCORA	Remède trop de charge en S - problématique du nettoyage derrière le vitrage - ATEX prohibée car ERP et sous-frais de chantier	
	scénario 2-A	scénario 2-A	scénario 2-A	scénario 2-A	scénario 2-A	AIA ING	Vitrage sous ATEX standard - Le vitrage peut encore être optimisé à 1552 en considérant remplissage comme simple séparation - Cette solution est le meilleur compromis.	
	246 066 €	246 066 €	246 066 €	246 066 €				

## 6.3 Bilan de l'approche économique :

Nota : le scénario 2 de DPA/ARCORA a été sous-estimé et nous l'avons remis à son bon coût pour cette approche :

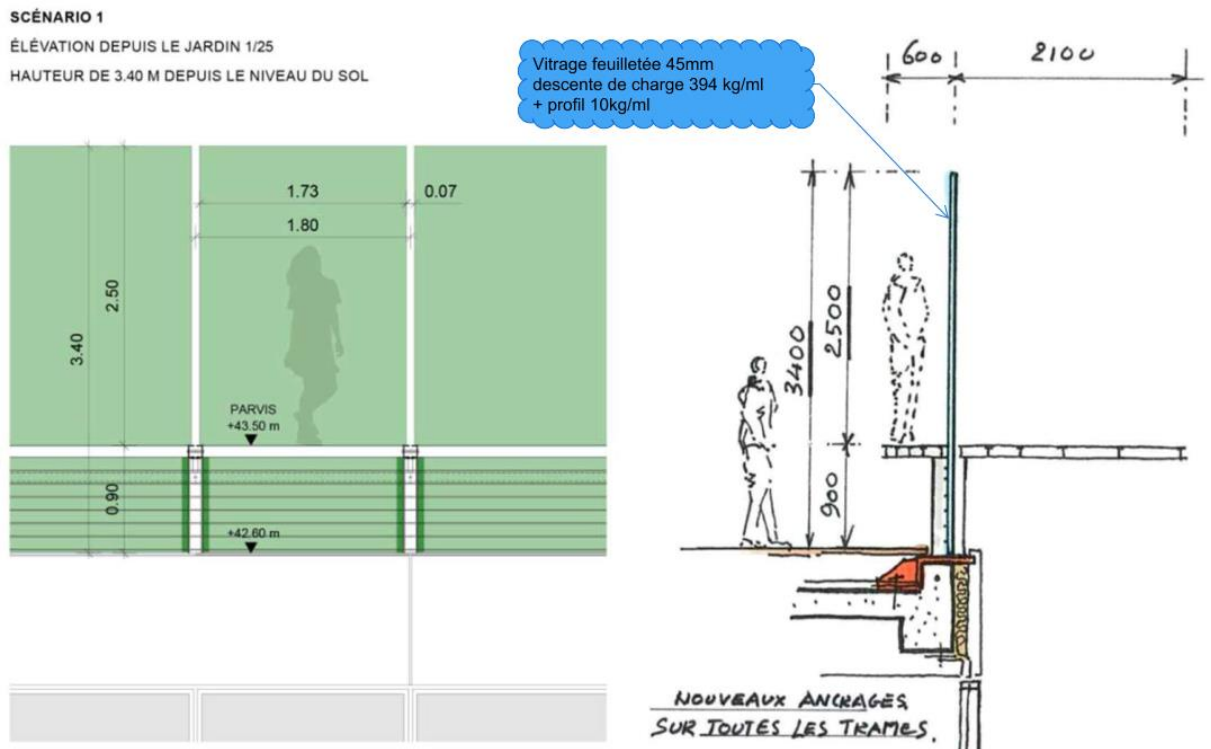
## PHASE DIAGNOSTIC - APPROCHE ECONOMIQUE

localisation	MOE	ATEX	ATEC	Avis de chantier	type vitrage estimé	type vitrage retenu	traitement	Hauteur de protection	poids vit, kg/ml	poids profils kg/ml	poids divers kg/ml	G' kg/ml	coût estimé							
		DPA ARCORA											DPA ARCORA	AIA ING	AIA ING	AIA ING				
Jardin ext	scénario 1	DPA ARCORA	OUI	NON	NON	feuilletée 45mm	PVB trempé HST	3,4 m	354	30	15	439	scénario 1	5 259 497 €						
	scénario 1-A	AIA ING	NON	OUI	OUI	feuilleté 12.12.1	feuilleté 12.12.1	SGP trempé HST	2,5 m	156	10	15	181	scénario 1-A	4 019 281 €					
	scénario 1-B	AIA ING	NON	OUI	OUI	feuilleté 12.12.1	feuilleté 12.12.1	SGP trempé HST	2,5 m	158	10	15	183	scénario 1-B	4 328 848 €					
	scénario 1-C	AIA ING	NON	Probable	OUI	feuilleté 19.19.1	feuilleté 12.12.12.1	SGP trempé HST	3,4 m	315	10	15	340			scénario 1-C	5 177 953 €			
Passerelle Int	scénario 2	DPA ARCORA	Probable	NON	OUI	feuilleté 12.12.1	feuilleté 12.12.1	SGP trempé HST	2,35 m	147	7	1	155	scénario 2	365 091 €					
	scénario 2-A	AIA ING	NON	OUI	NON	feuilleté 8.8.1	feuilleté 8.8.1	SGP durci	2,35	50	10	15	75		scénario 2-A	246 066 €	scénario 2-A	246 066 €		
													TOTAL TOUTES PRESTATIONS				5 624 588 €	4 265 347 €	4 574 913 €	5 424 019 €

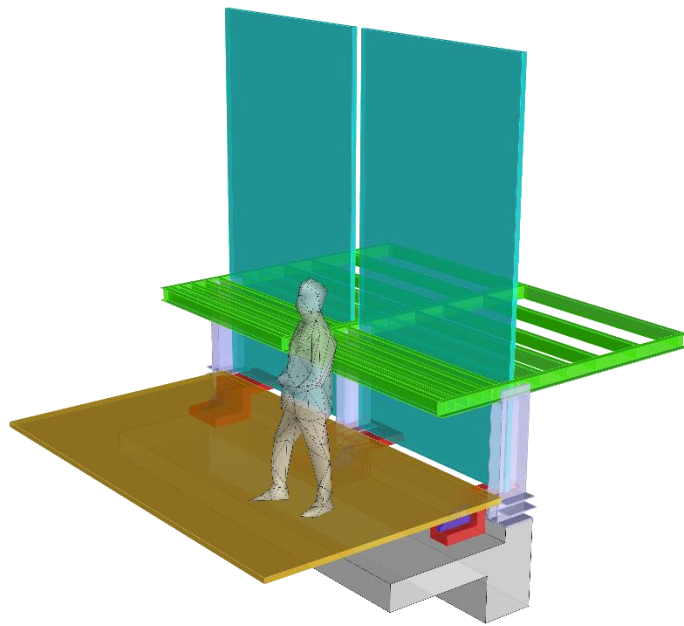
Le meilleur rapport qualité/prix est la combinaison des scénario 1-A et 2-A pour un coût total de 4 265 347 € ht.

## 7. Rendu 3D :

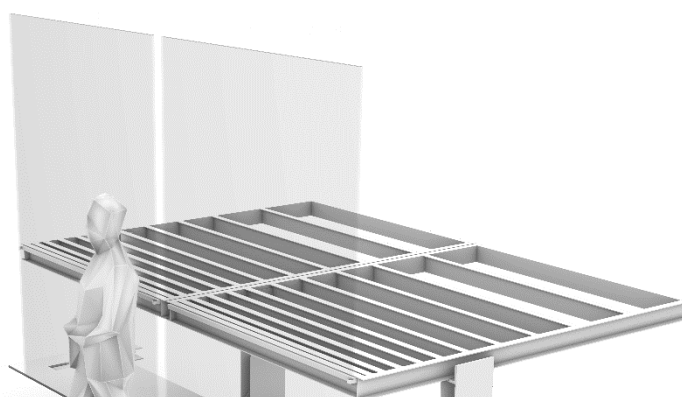
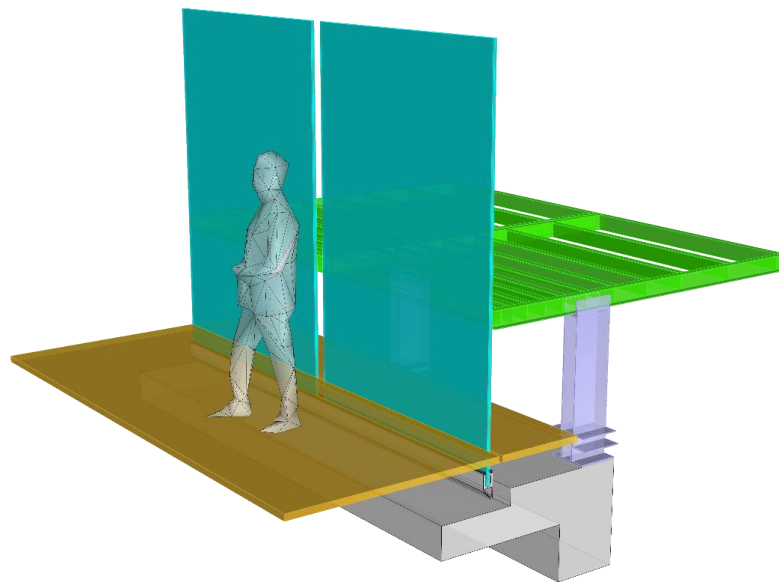
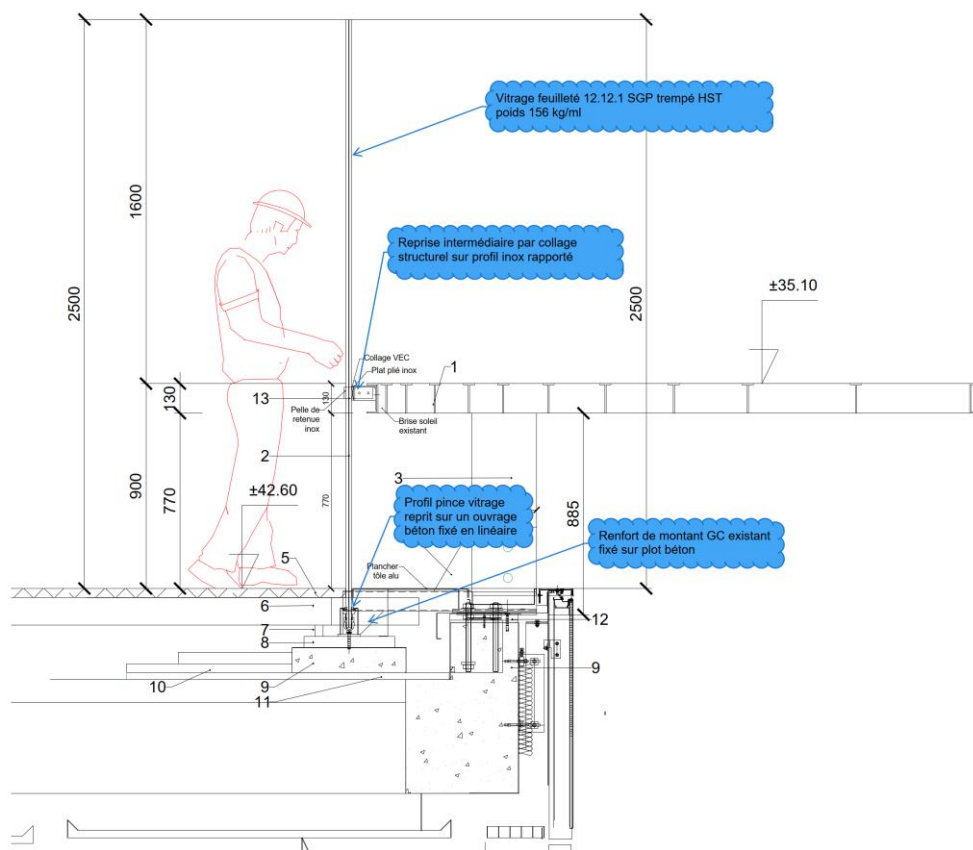
### 7.1 Scénario 1 : proposition DPA/ARCORA pour sécurisation garde-corps jardin central :





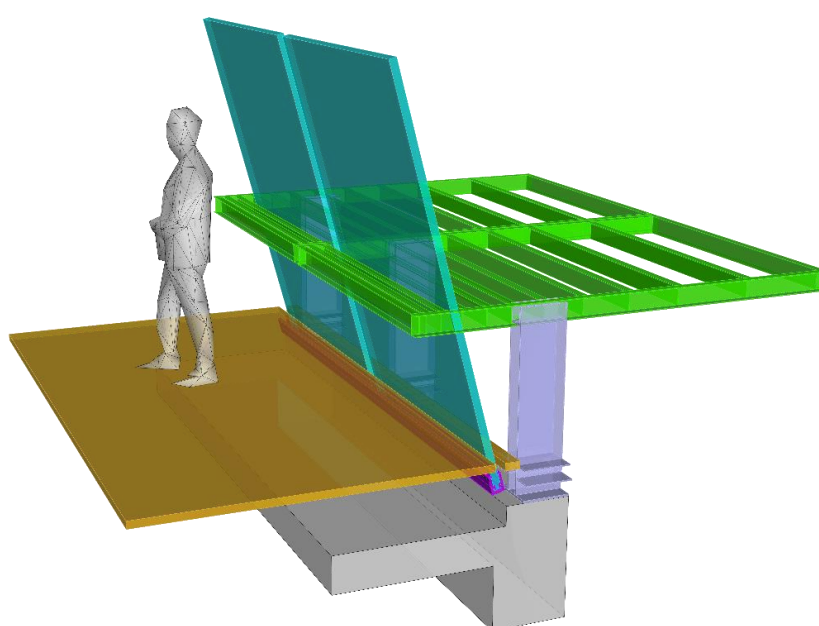
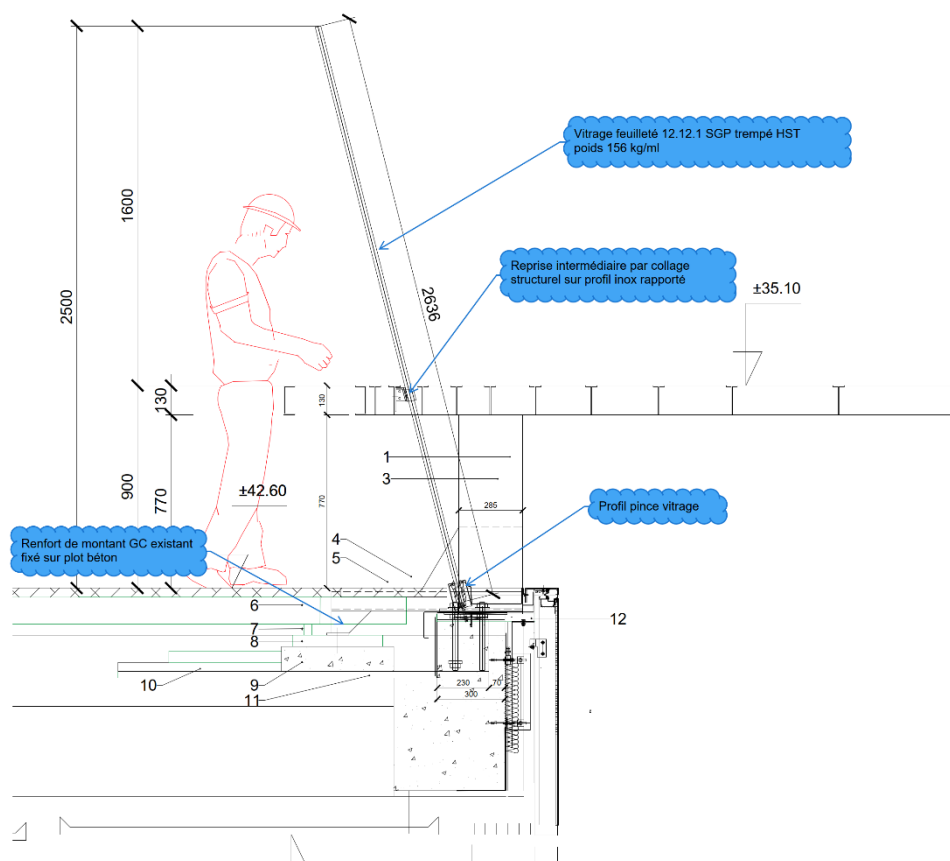


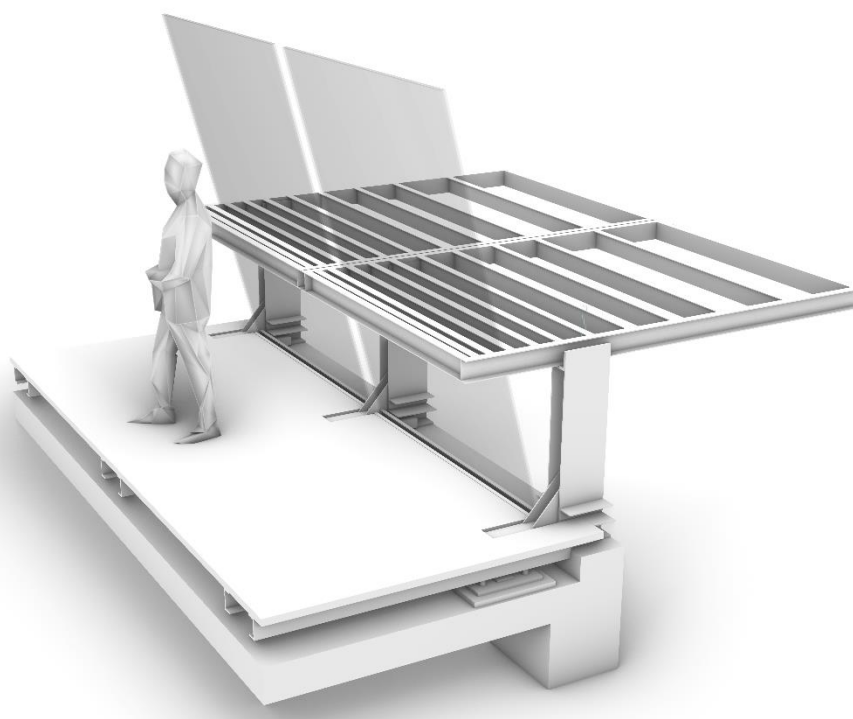
7.2 Scénario 1-A : proposition AIA Ingénierie/EA pour sécurisation garde-corps jardin central : vitrage de +2,50m de haut devant le GC actuel.





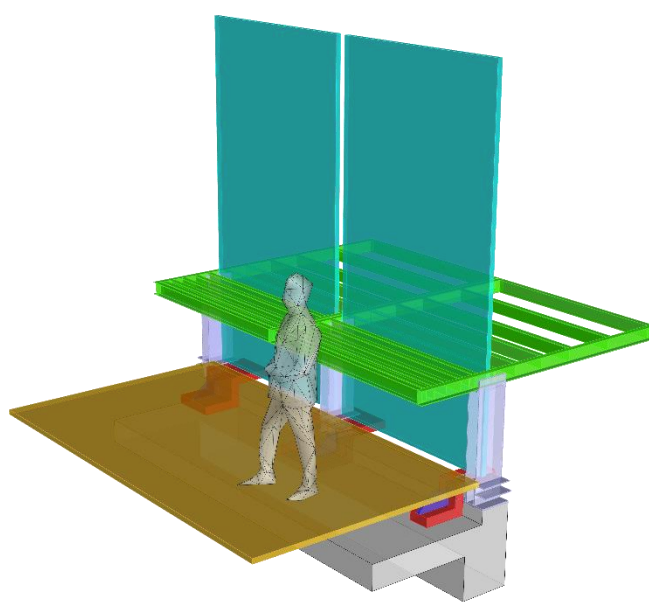
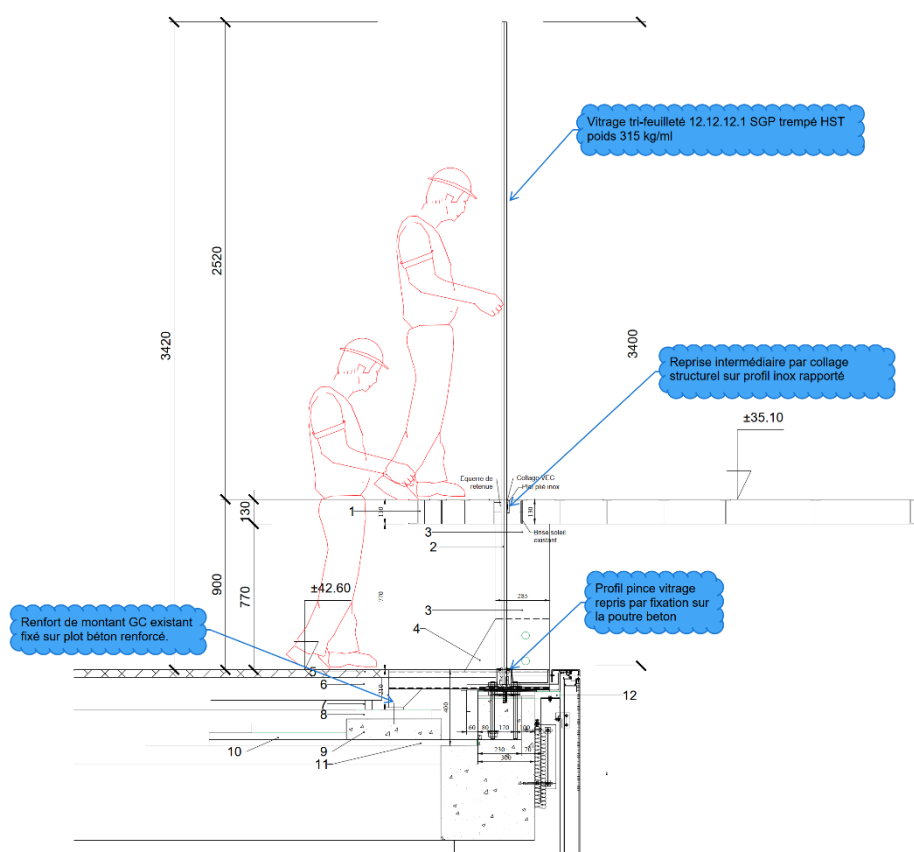
### 7.3 Scénario 1-B : proposition AIA Ingénierie/EA pour sécurisation garde-corps jardin central : vitrage de +2.50m en biais dans GC actuel.

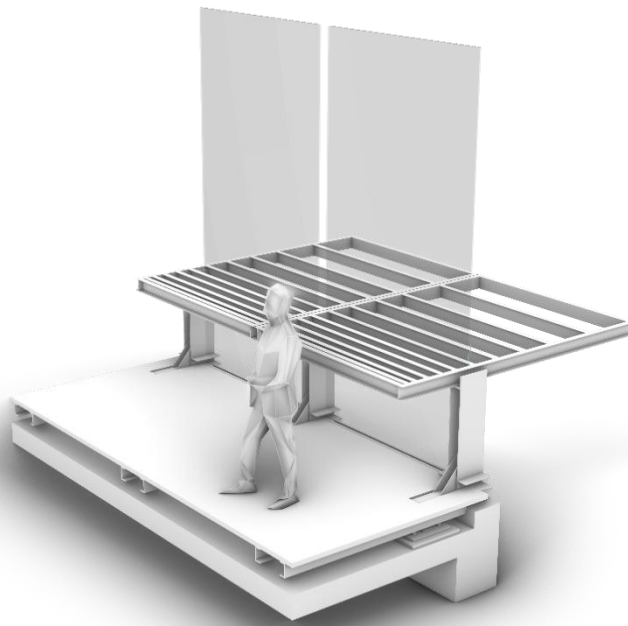




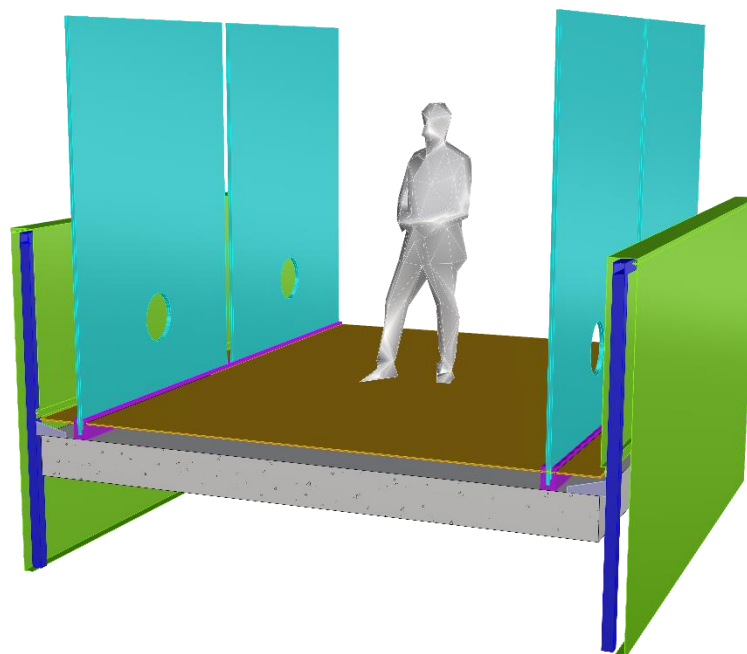
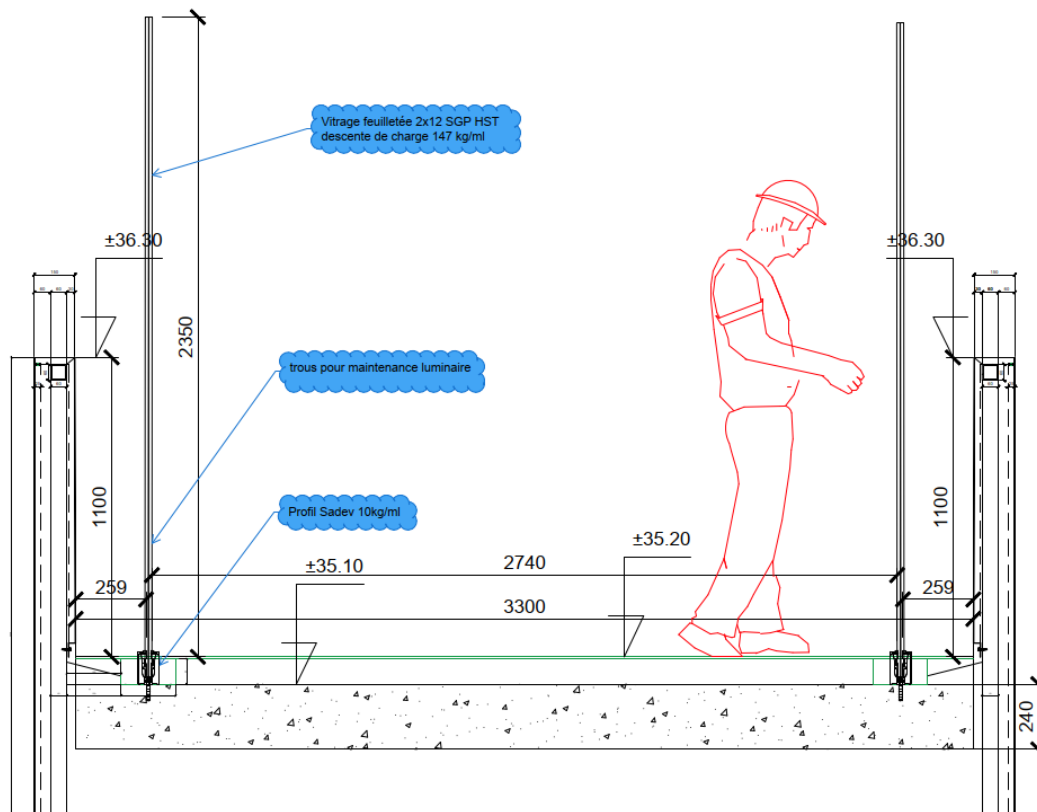


## 7.4 Scénario 1-C : proposition AIA Ingénierie/EA pour sécurisation garde-corps jardin central : vitrage de +3,40m de haut dans l'axe GC actuel.

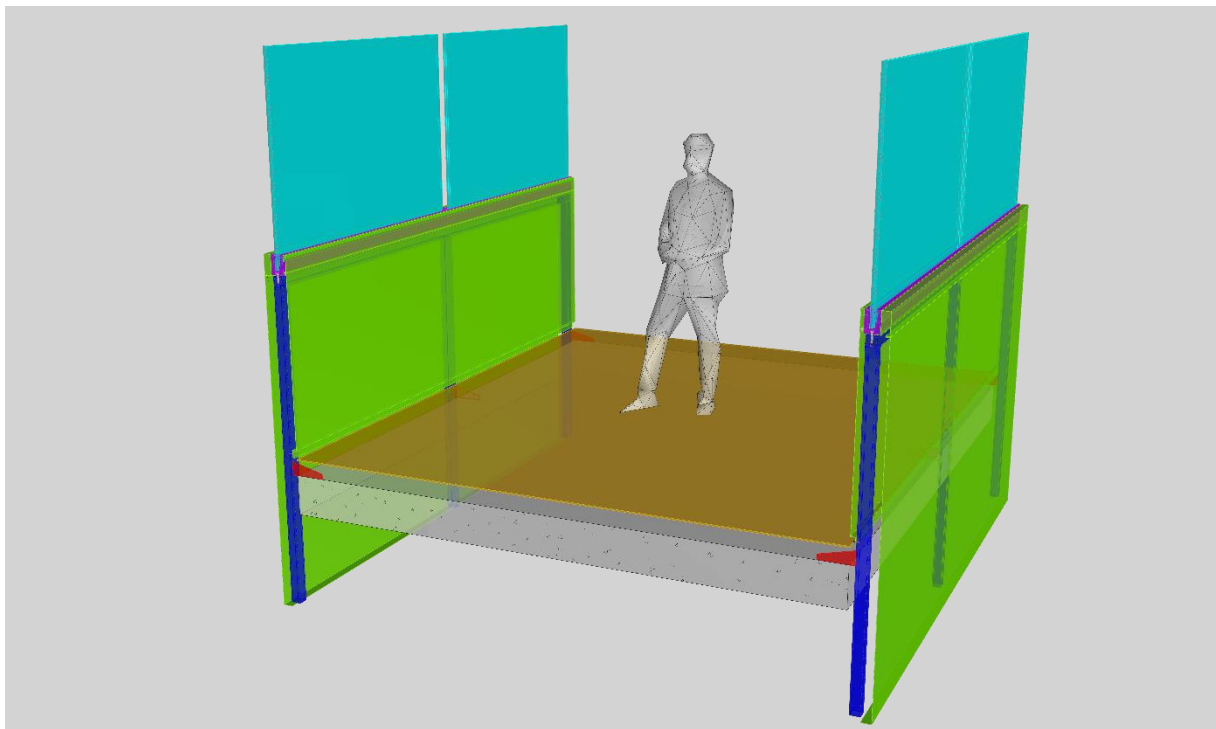
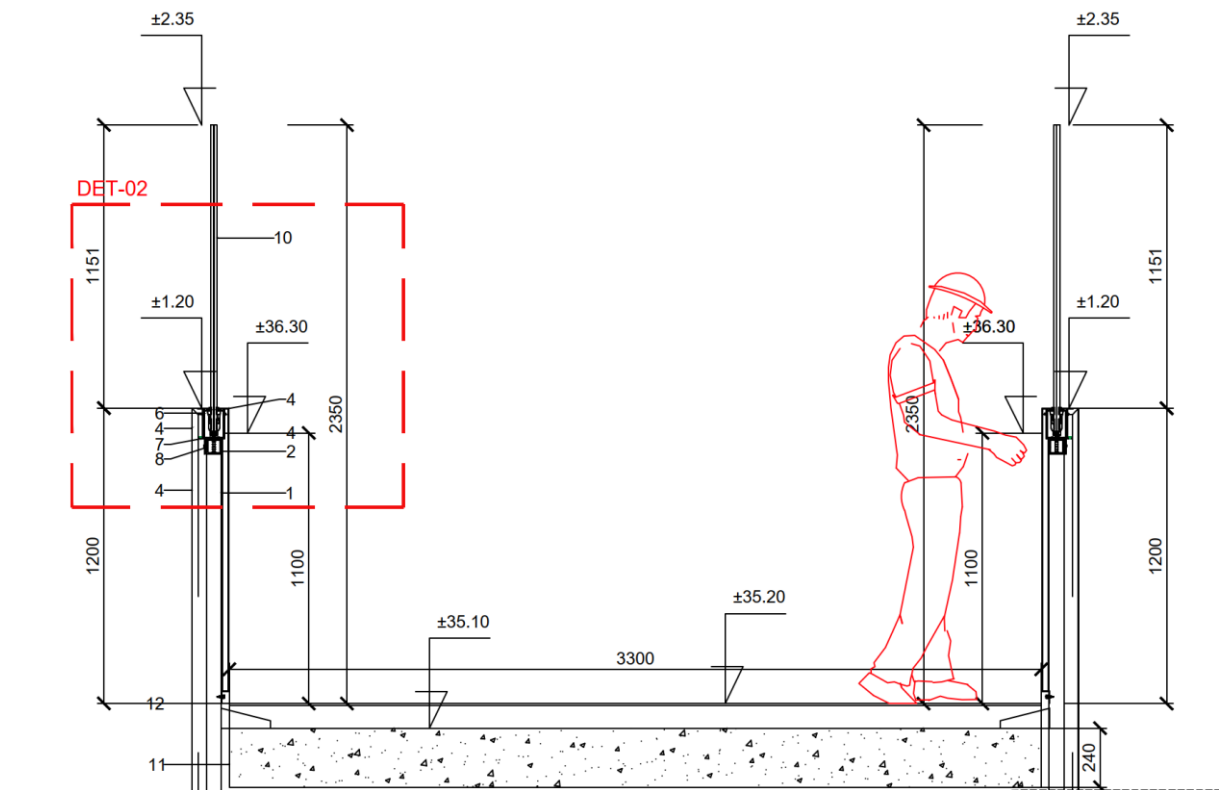




## 7.5 Scénario 2 : proposition DPA/ARCORA pour sécurisation passerelles intérieures :



## 7.6 Scénario 2-A : proposition AIA Ingénierie/EA pour sécurisation passerelles intérieures :



## 8 Annexes :

- Avis technique Sentryglas : DTA 6\_15-2253\_V4
- Avis technique Sadev : ATec\_SADEV\_SABCO\_2.0\_2.1\_22-1829\_V1
- AIA-FAC-BNF-Proposition Scénarios et rendu 3D (12 pages)

### Equipe de recherche et d'investigation :

- Yves PAGES : EXPLORATIONS ARCHITECTURE – Co-fondateur, Architecte DPLG - Directeur de projet
- Olivier CANAT : AIA INGENIERIE – Directeur AIA Ingénierie – Associé AIA LIFE DESIGNER – Directeur de projet
- Michel MARCHAL : AIA INGENIERIE – Ingénieur Enveloppe Façade, spécialiste clos couvert. Responsable pôle façades
- Pierre CHASSAGNE : AIA INGENIERIE – Ingénieur structure et façade, spécialiste charpente métallique
- Claire MAURY : AIA INGENIERIE – Ingénieur Architecte, spécialiste façade
- Khalil KAMAL : AIA INGENIERIE – ingénieur, spécialiste modelleur 3D -Revit Python

Fait à Lyon le 15/03/2024



**Michel MARCHAL**

Responsable pôle façades

AIA INGENIERIE

20 rue Lortet, 69007 Lyon

+33 4 81 92 00 45 / +33 6 58 23 26 81

[m.marchal@a-i-a.fr](mailto:m.marchal@a-i-a.fr) / [aialifedesigners.fr](http://aialifedesigners.fr)

