

LANG SAINT-ANDRÉ ARCHITECTES

SYNERGETICS LA MAÎTRISE DES ÉNERGIES

SECBTP STRUCTURES ETUDES CONSEIL

ÉTUDE DE FAISABILITÉ DE LA MODIFICATION DE LA VERRIÈRE DE L'ATRIUM

16 rue René Descartes, 67000 Strasbourg

Université de Strasbourg / DPI-Spex

SOMMAIRE

1. CONTEXTE 2

- **PRÉSENTATION DE L'ÉTUDE** 3
  - DEMANDE DU MAÎTRE D'OUVRAGE
  - DOCUMENTS ANALYSÉS
  - CONCLUSIONS DE LA VISITE
  - CONTENU DU DOSSIER
- **CONTEXTE ET HISTORIQUE DU BÂTIMENT** 4
  - LOCALISATION ET HISTORIQUE DU LIEU
- **ANALYSE DES RÉGLEMENTATIONS** 5
  - MONUMENTS HISTORIQUES
  - PLU
- **CADRE RÉGLEMENTAIRE THERMIQUE** 6
- **CADRE RÉGLEMENTAIRE STRUCTUREL : EUROCODES** 8
- **CADRE RÉGLEMENTAIRE INCENDIE** 9
- **CADRE RÉGLEMENTAIRE CODE DU TRAVAIL** 13

2. ANALYSE DE L'EXISTANT 14

- **RÉPARTITION PROGRAMMATIQUE DE L'EXISTANT** 15
- **PRINCIPE STRUCTUREL DU BÂTIMENT** 16
- **PRINCIPE D'ENVELOPPE DU BÂTIMENT** 19
- **CONSTATS ET INCONFORTS THERMIQUES** 28
- **PATHOLOGIES OBSERVÉES** 30
- **NON CONFORMITÉS OBSERVÉES** 33

3. PRÉCONISATIONS 36

- **CONFORT THERMIQUE** 37
- **VARIANTE 1 : VERRIÈRE AVEC FILM OPAQUE ET COUVERTURE EN TÔLE NERVURÉE** 38
  - PRÉCONISATION 38
  - DESCRIPTIF SOMMAIRE DES TRAVAUX ENVISAGÉS 42
  - ESTIMATIF FINANCIER PRÉVISIONNEL 43
- **VARIANTE 2 : REMPLACEMENT DE LA VERRIÈRE PAR DES CAISSONS BOIS CHEVRONNÉS** 44
  - PRÉCONISATION 44
  - DESCRIPTIF SOMMAIRE DES TRAVAUX ENVISAGÉS 48
  - ESTIMATIF FINANCIER PRÉVISIONNEL 49
- **VARIANTE 3 : REMPLACEMENT DE LA VERRIÈRE PAR DES PANNEAUX SANDWICHS** 50
  - PRÉCONISATION 50
  - DESCRIPTIF SOMMAIRE DES TRAVAUX ENVISAGÉS 54
  - ESTIMATIF FINANCIER PRÉVISIONNEL 55

4. LISTE DES ANNEXES 56

1. CONTEXTE

PRÉSENTATION DE L'ÉTUDE

Demande du maître d'ouvrage

L'Université de Strasbourg a missionné Lang Saint-André Architectes pour la réalisation d'une étude en vue du remplacement de la verrière de l'Atrium sur le campus de l'Esplanade de Strasbourg.

Des infiltrations et de la condensation à plusieurs endroits de la toiture vitrée ont été relevées. Des rustines ont été faites ponctuellement mais les problèmes d'étanchéité subsistent.

De plus, l'atrium qui accueille le hall et les circulations est à l'origine d'inconforts thermiques en hiver et en été.

Le remplacement de la verrière du bâtiment devra :
- garantir l'étanchéité de l'ouvrage,
- améliorer le confort thermique d'hiver et d'été,
- améliorer les conditions d'entretien et de maintenance de l'ouvrage.

Documents analysés

La maîtrise d'ouvrage met à disposition :

- les plans, coupes et élévations de l'existant,
- le Dossier des Ouvrages Executés :
    - du lot charpente métallique de l'atrium,
    - du lot menuiseries aluminium,

comprenant les plans du mur rideau et de la verrière,
- le PV de la Sous-commission Consultative Départementale de Sécurité,
- une étude de faisabilité approfondie avec simultation thermique dynamique et optimisation du confort estival réalisée en 2016 par le bureau d'études IMAEE.

Conclusions de la visite

La visite du bâtiment fait apparaître différentes pathologies :
- de la stagnation d'eau 'sale' sur la verrière et une pente trop faible,
- des infiltrations au dernier niveau,
- de la condensation,
- de nombreuses rustines et joints défectueux,
- des zones de stagnation des eaux de pluie en toiture terrasse,
- déterioration de films solaires collés sur les vitrages existants,
- une déformation des châssis de verrière en rive de bâtiment.

Des non-conformités réglementaires ont été relevées :
- IT263 - atrium et désenfumage
- DTU étanchéité : dimensionnement des chéneaux.

Contenu du dossier

Ce dossier comprend :

- une présentation du contexte et de l'historique du bâtiment,
- une analyse des périmètres de protection des Monuments Historiques et du PLU,
- une analyse du cadre réglementaire thermique,
- une analyse du cadre réglementaire incendie,
- une analyse du programme existant,
- une analyse de la structure existante,
- une analyse de l'enveloppe existante,
- une présentation des constats et des inconforts thermiques dans l'existant,
- une présentation des pathologies observées,
- l'étude de trois variantes de modification ou de remplacement de la verrière comprenant une coupe de principe, des schémas, axonométriques et un descriptif sommaire des travaux envisagés,
- une estimation des trois variantes.



Vue de la façade principale Nord, LSAA

CONTEXTE ET HISTORIQUE DU BÂTIMENT

Localisation et historique du lieu

L''Atrium' du campus de l'Esplanade est situé 16 rue René Descartes, entre le 'Portique' et le 'Patio'.

C'est un ERP de de type R (Enseignement) et de 2ème catégorie**.**

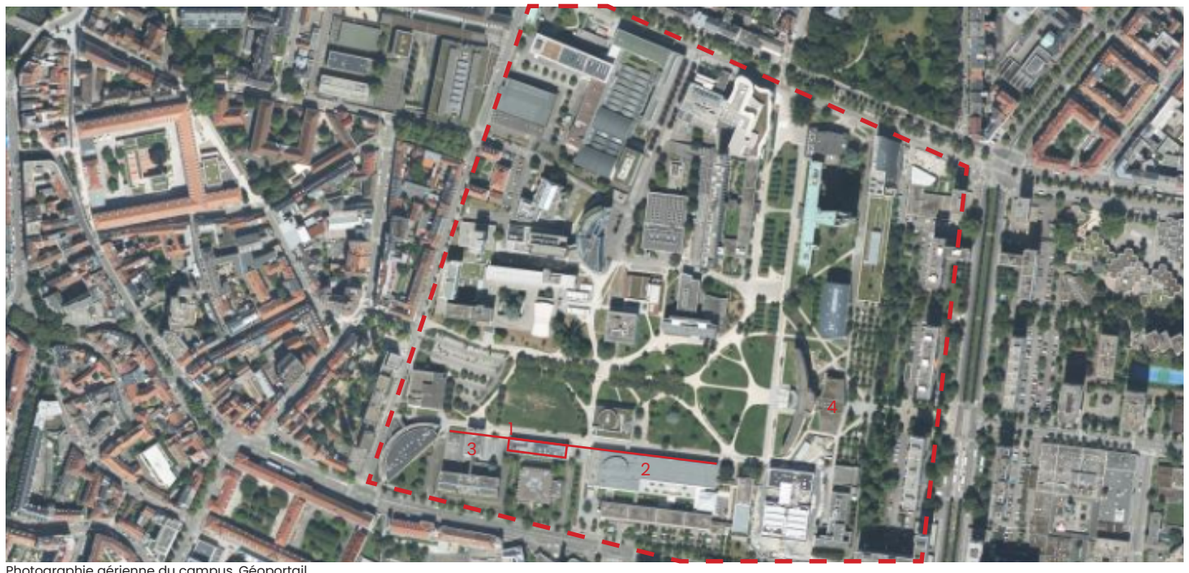
Le bâtiment a été livré en 1994 par les architectes Claude Denu et Christian Paradon.
Le permis de construire a été déposé en 1993.

Il est intégré à la composition initiale du campus des architectes Stoskopf et Hummel en s'alignant sur la façade Nord du Patio.

Le bâtiment s'ouvre vers un mail vert central, avec en figure de proue la Faculté de Droit.
Sa façade principale est donc orientée vers le Nord, la façade Sud faisant office d'arrière de bâtiment.

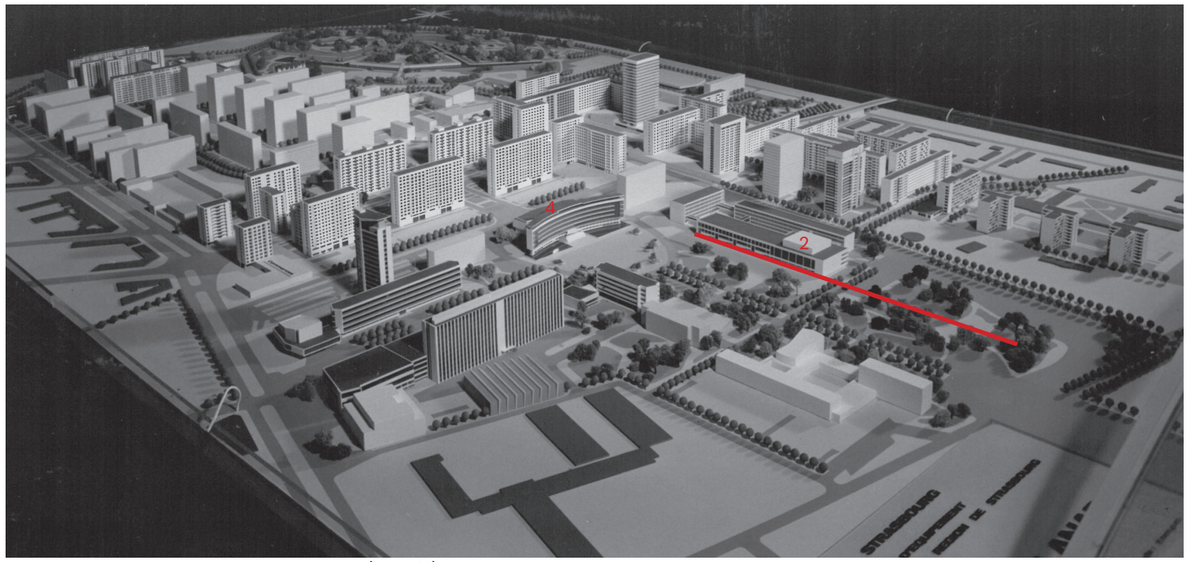
Son architecture est typique de celle des années 90 avec :
- ses façades Nord et Est largement vitrées en Verre Extérieur Collé,
- sa toiture largement vitrée à plus d'un tiers de la surface.

Cette proportion de vitrage est d'ailleurs à l'orgine des inconforts thermiques observés dans le bâtiment.



Photographie aérienne du campus, Géoportail

1 Atrium 2 Patio 3 Portique 4 Faculté de Droit — Alignement avec le Patio — Enceinte du campus



Maquette du quartier de l'Esplanade à Strasbourg, s. d. (vers 1960), architectes C.G. Stoskopf et R. Hummel, archives Caisse des dépôts

ANALYSE DES RÈGLEMENTATIONS (MONUMENTS HISTORIQUES ET PLU)

Monuments historiques

L'Atrium est situé dans plusieurs périmètres de protection aux abords de monuments historiques.

Les ABF seront consultés pour cette opération si un Permis de Construire ou une Déclaration Préalables venaient à être déposés.

PLU

Section cadastrale : parcelle 75, section 37

Contenance cadastrale : 1 554 m²

Zone UE1 du PLU

Zone UE : zone urbaine spécifique, à vocation d'équipements publics ou d'intérêt collectif

L'analyse du PLU se limitera dans notre cas aux articles touchant à la toiture. Le changement de toiture envisagé n'entraîne pas de modification substantielle du bâtiment.

Article 10 : Aspect extérieur des constructions

Aucune indication n'est portée au règlement graphique donc la hauteur n'est pas règlementée. > Sans objet pour la suite du projet

Article 11 : Aspect extérieur des constructions

2. Toitures

Les bâtiments publics ou d'intérêt collectif ne sont pas soumis aux dispositions relatives aux toitures. > Sans objet pour la suite du projet

A titre d'information, l'Atrium est situé en face d'un espace planté à conserver (mail axé sur la Faculté de Droit).



Extrait de l'Atlas des Patrimoines (périmètres MH cercles rose), sans échelle

1 Atrium



Extrait du cadastre, 1/2000

1 Atrium



Extrait du PLU, sans échelle

1 Atrium

CADRE RÉGLEMENTAIRE THERMIQUE

Les réglementations thermiques à appliquer pour la modification de la verrière de l'atrium sont présentées ici. Les textes à respecter sont les suivants :

> Décret tertiaire

> Réglementation thermique des bâtiments existants

> Décret BACS (building automation and control system)

Décret tertiaire

Le bâtiment est soumis au décret tertiaire (Décret n° 2019-771 du 23 juillet 2019 relatif aux obligations d'actions de réduction de la consommation d'énergie finale dans des bâtiments à usage tertiaire). La surface du bâtiment est supérieure à 1000 m² et les usages des locaux font partie du domaine d'application du décret tertiaire.

Le dispositif Éco Énergie Tertiaire (EET) est une obligation réglementaire qui engage le secteur tertiaire vers plus de sobriété énergétique. Cette obligation découle du décret tertiaire (article 175 de la loi Élan). Elle impose une réduction par pallier de la consommation énergétique dans les bâtiments à usage tertiaire ou un objectif de réduction des consommations en valeur absolue.

L'obligation s'adresse à tous les types d'entité, propriétaire ou preneur à bail de locaux cumulés de plus 1 000 m² de surface de plancher tertiaire et s'applique donc à l'opération.

Les entités concernées doivent déclarer les consommations de l'année de référence sur la plateforme gouvernementale OPERAT avant le 30 septembre 2022 (tolérance au 31 décembre 2022).

Les objectifs visent une évolution progressive de la réglementation. L'obligé s'oriente vers l'un des deux types d'objectifs suivant :

Objectif en valeur relative

- Les valeurs à respecter s'établissent respectivement à partir de la consommation de référence avec une réduction de -40% en 2030, -50% en 2040 et -60% en 2050.

- L'objectif correspond à une réduction de la consommation d'énergie finale par rapport à l'année de référence, incluant tous les usages énergétiques sur une année, ajustée des conditions climatiques, qualifié par les données d'occupation et d'usage.

Objectif en valeur absolue

- Consommations réelles < Consommations maximales

Les valeurs à respecter sont fixées par arrêté avant le début de chaque décennie et les objectifs doivent être atteints à chaque échéance (2030, 2040, 2050).

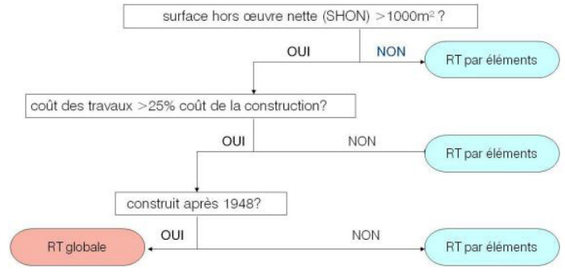
- Incluant tous les usages énergétiques sur une année, par seuils exprimés en kWh/m²/an en fonction de la consommation énergétique des bâtiments nouveaux de la même catégorie d'activité et des meilleures techniques disponibles, qualifié par les données d'occupation et d'usage

> Faisa : Les vérifications d'atteinte des premiers objectifs seront réalisées en 2031. Il ne nous a pas été communiqué d'éléments permettant de déterminer si le bâtiment est en règle vis-à-vis des déclarations obligatoires. Aucun projet de travaux pour satisfaire à l'exigence à 2031 n'a été porté à notre connaissance. Il faut envisager de réaliser une étude de faisabilité et des travaux énergétique permettant d'atteindre les seuils réglementaires du 1er palier d'exigence de 2031.

Réglementation thermique des bâtiments existants

Le bâtiment d'une surface supérieure à 1000m² et construit en 1994 sera soumis à la RT Ex Globale dans le cadre de travaux lourds de rénovation et à la RT Ex éléments par éléments dans le cadre de travaux légers.

> Faisa : Dans le cadre des travaux envisagés pour le remplacement de la couverture de la verrière, c'est donc la RT Ex Eléments par éléments qui s'applique. La résistance thermique totale de la paroi devra être R > 4.5 m².K/W.



Extrait de la fiche d'application RT Ex « Précisions sur l'application des deux volets de la réglementation thermique des bâtiments existants »

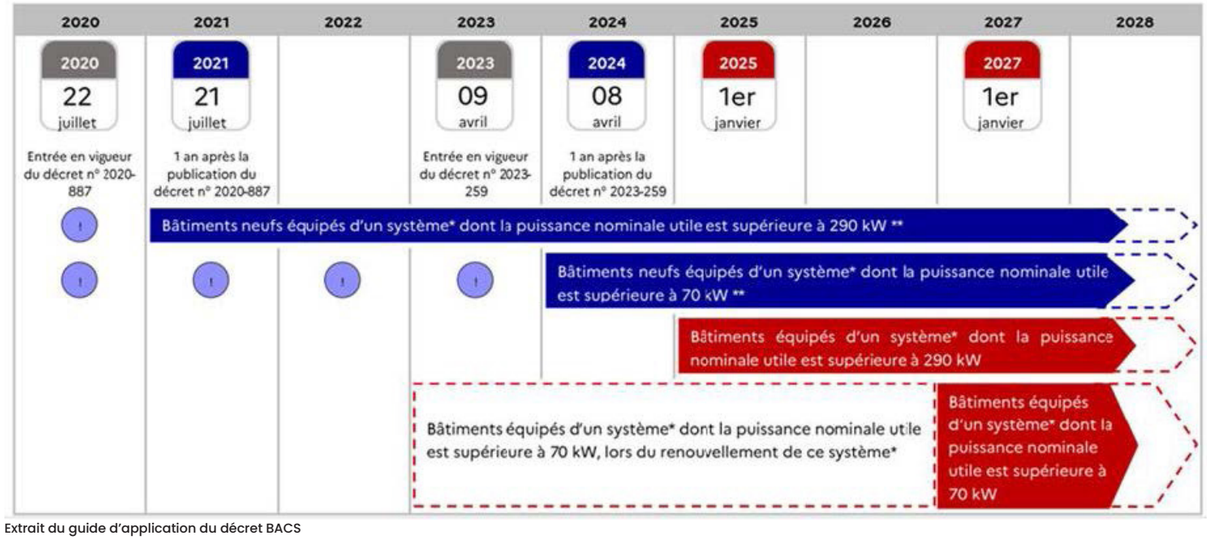
CADRE RÉGLEMENTAIRE THERMIQUE

Décret BACS (Building Automation and Control System)

Les articles R. 175-1 à R. 175-5-1 du code de la construction et de l'habitation, selon décret n° 2020-887 du 20 juillet 2020 relatif au système d'automatisation et de contrôle des bâtiments non résidentiels et à la régulation automatique de la chaleur puis modifiés par le décret n° 2023-259 du 7 avril 2023 relatif aux systèmes d'automatisation et de contrôle des bâtiments tertiaires, introduisent des obligations d'installation de ces systèmes.

> Faisa : La puissance thermique installée de 420 kW environ (rapport de diagnostic IMAEE) est supérieure à 290 kW. Le bâtiment est donc soumis au décret BACS. Il doit être équipé de système de gestion technique du bâtiment (GTB) permettant de contrôler et superviser la gestion de l'ensemble des installations techniques du bâtiment (chauffage, climatisation, eau chaude sanitaire, éclairage, système de sécurité, etc).

Il faut prévoir l'installation d'une GTB conforme au décret BACS.



Extrait du guide d'application du décret BACS

CADRE RÉGLEMENTAIRE STRUCTUREL : EUROCODES

Actions climatiques

Charge de neige

Suivant la règlementation actuelle aux Eurocodes, la ville de Strasbourg est localisée en zone de neige C1, soit une charge de neige caractéristique : $S_k = 0.65\ kN/m^2$

Les édicules en toiture créent un phénomène d'accumulation.

Dans les zones 1 et 2, la charges varie entre 2 valeurs extrêmes.

Pour la zone 1 :
Valeur maximale : $S_{max} = 1.50\ kN/m^2$
Valeur minimale : $S_{min} = 0.50\ kN/m^2$
Pour la zone 2 :
Valeur maximale : $S_{max} = 1.20\ kN/m^2$
Valeur minimale : $S_{min} = 0.85\ kN/m^2$

Charge de vent

Le projet est situé en zone de vent 2, soit une vitesse de base de référence : $v_{b0} = 24\ m/s$

On considère un site d'orographie IIIb (zone industrielle). On calcule la pression dynamique de pointe :

- en pied de bâtiment : $q_p = 47.5\ daN/m^2$
- au sommet du bâtiment : $q_p = 56.0\ daN/m^2$

Charge d'exploitation

On considère une charge d'exploitation d'entretien : $Q_k = 0.80\ kN/m^2$

Actions sismiques

Le projet est situé en zone sismique 3, pour un bâtiment de catégorie d'importance II (ERP de 2e catégorie).

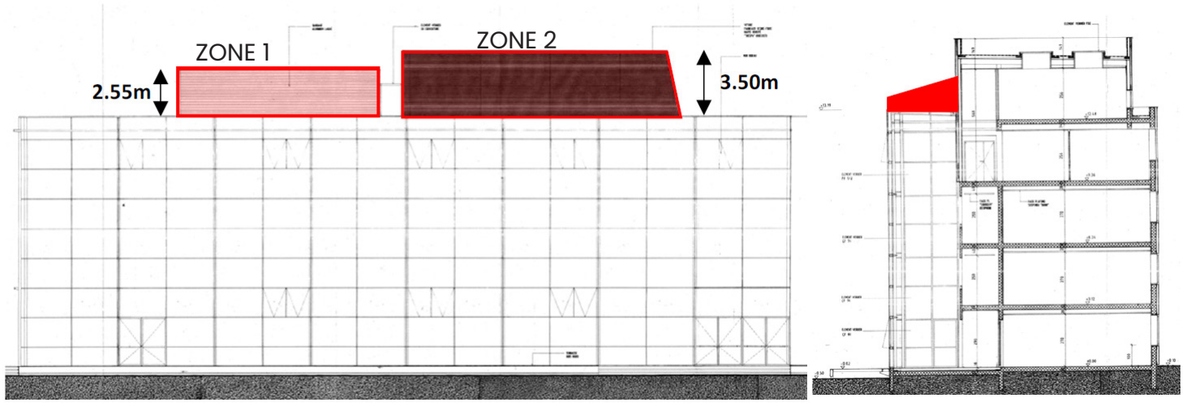
Par conséquent la réglementation sismique est applicable.

Cependant, dans le cadre du présent projet de réhabilitation :

- Il n'est pas prévu d'augmenter la SHON initiale de plus de 30 % ou de supprimer plus de 30 % d'un plancher àun niveau donné ;

- Les travaux n'augmentent pas la vulnérabilité du bâtiment au séisme.

> Faisa : La requalification du bâtiment au séisme n'est pas requise, de sorte que l'action sismique ne sera pas prise en compte dans les calculs.



Phénomène d'accumulation au droit des édicules, SECBTP

ACTION DE LA NEIGE (EUROCODE 1-3)			
→ Zone de neige	Zone	**C1**	
→ Charge caractéristique	S_k	**0,65**	kN/m²
→ Charge exceptionnelle	S_{ad}	**-**	kN/m²

ACTION DU VENT (EUROCODE 1-4)			
→ Zone de vent	Zone	**2**	
→ Vitesse de référence	V_{b0}	**24**	m/s
→ Coefficient de direction	c_{dir}	**0,70**	[10° - 150°]
→ Coefficient de saison	c_{season}	**0,80**	[avril - sept]

ACTION SISMIQUE (EUROCODE 8)			
→ Zone sismique	Zone	**3**	(Modérée)
→ Accélération nominale	a_{gr}	**1,10**	m/s²

ACTION DU GEL			
→ Cote hors gel (NF P 94-261)	H_0	**0,90**	m
→ Zone de gel (FD P 18-326)	Gel	**Modéré**	

ACTIONS THERMIQUES		
→ Zone climatique (Arrêté du 21/03/202		**Zone H1b**
→ Températures extrêmes (EC1-5)		**-30 | 40 °C**
→ Distance entre joints (EC2-1-1-AN)		**30 / 35 m**

Fiche synthétique des actions pour la commune de Strasbourg, SECBTP

CADRE RÉGLEMENTAIRE INCENDIE

Le bâtiment étudié est un ERP de type R et de 2ème catégorie.

Les réglementations qui concernent la verrière et l'atrium sont ici présentées. Les textes à respecter sont les suivants :

> Règlement ERP - Livre II - Titre I - Dispositions générales - Chaptitre II : Construction - Section IV : Couvertures

> Règlement ERP - Livre II - Titre I - Dispositions générales - Chaptitre III : Aménagements intérieurs, décoration et mobilier - Section I : Matériaux de paroi

> IT 263 - Construction et désenfumage des volumes libres intérieurs dans les ERP **(Arrêté du 19 novembre 2001, postérieur au dépôt du permis de construire de l'Atrium)**

Dispositions réglementaires :

Dispositions générales - Chaptitre II : Construction - Section IV : Couvertures - Articles CO 16 à CO 18

CO 16 - Généralités

> § 1. Objet : Les dispositions de la présente section ont pour but de préserver la couverture de l'établissement recevant du public des effets d'un feu provenant d'un bâtiment tiers.

> § 2. En outre, lorsque les bâtiments tiers sont contigus, la couverture de l'établissement doit répondre également aux dispositions relatives à l'isolement de l'article CO 7 (§ 2 et § 3).

> Faisa : Le bâtiment concerné ne dispose d'aucuns bâtiments tiers contigus. Pas d'objet.

CO 17 - Protection de la couverture par rapport à un feu extérieur

> § 1. Objet : Au-delà de 12 mètres entre l'établissement et le bâtiment voisin ou la limite de la parcelle voisine, aucune exigence n'est demandée pour la protection de la toiture par rapport à un feu extérieur.

> Faisa : La partie de toiture concernée par cette étude est à plus de 12 mètres des bâtiments voisins. Pas d'objet.

§ 3. (Arrêté du 10 juillet 1987) « Les couvertures formant également plafonds doivent être réalisées en matériaux M2 même si elles descendent jusqu'au sol et ce, quelle que soit la distance par rapport au bâtiment voisin ou à la limite de la parcelle voisine.

> Faisa : Les vitrages existants en toiture sont feuilletés donc M1 ou M2 selon leur composition. Conforme.

CO 18 - Protection de la couverture par rapport à un feu extérieur : cas particuliers

§ 2. Eléments vitrés en couverture :

Des dispositions doivent être prévues pour éviter la chute d'éléments verriers de couverture sur le public, en cas d'incendie.

Ce but peut être atteint :

- soit par des vitrages en verre armé, verre trempé ou verre feuilleté conformes à la norme française NF B 32-500 et posés dans les conditions prévues dans le D.T.U. n° 39-1/39-4 pour les vitrages devant rester en place au début de l'incendie pendant l'évacuation du public ;

- soit en disposant sous les vitrages en verre mince un grillage métallique à mailles de trente millimètres maximum.

> Faisa : Les vitrages existants sont feuilletés, M1 ou M2 par nature. Conforme.

Dispositions générales - Chaptitre III : Construction - Aménagements intérieurs, décoration et mobilier - Section I : Matériaux de paroi - Articles AM 3 et AM 5

AM 3 - Parois des dégagements protégés

§ 2. Circulations horizontales protégées.

Les parois des circulations horizontales protégées sont classées B-s2, d0 ou en catégorie M1 pour les plafonds.

AM 5 - Parois des dégagements non protégés

§ 1. Les plafonds des dégagements non protégés et des locaux sont classés B-s3, d0 ou en catégorie M1.

> Faisa : La verrière n'est pas concernée par ces articles mais il faudra en tenir compte pour les versions opaques. Les plafonds devront être B-s2, d0 ou B-s3, d0 (M1 dans les deux cas) selon la nature du dégagement, sujette à interprétation.

IT 263 - Construction et désenfumage des volumes libres intérieurs dans les ERP

La présente instruction technique a pour objet de définir les règles de construction et les principes de désenfumage de ces volumes. Elle s'applique, d'une part, aux établissements du premier groupe, d'autre part, aux établissements du deuxième groupe pour lesquels l'encloisonnement des escaliers est demandé.

Elle ne concerne pas les rues intérieures (nota 2).

Nota 2 : (Arrêté du 22 mars 2004) « Les rues intérieures s'apparentent soit à de simples circulations intérieures, soit à des mails sur trois niveaux, soit à des atriums : leur désenfumage ; s'il est imposé, est réalisé, après avis de la

CADRE RÉGLEMENTAIRE INCENDIE

commission de sécurité compétente, dans les mêmes conditions que celui des volumes auxquels elles sont assimilées, sans pour autant respecter les dispositions architecturales concernant ces volumes. »

1.2. Atrium couvert

Dans cette catégorie d'atriums, il faut distinguer :a) Ceux dont un ou plusieurs niveaux sont ouverts en permanence sur le volume central : atriums couverts ouverts (fig. 2) ;

b) Ceux dont tous les niveaux (à l'exception du niveau inférieur) sont fermés par une paroi, même si celle-ci comporte des ouvrants, des balcons ou une circulation horizontale ouverte : atriums couverts fermés (fig. 3 et 4).

Dans cette catégorie d'atriums, il faut distinguer les atriums couverts ouverts et les atriums couverts fermés.

> Faisa : Dans notre étude, nous sommes dans le cas d'un atrium couvert fermé dont tous les niveaux sont fermés par une paroi.

1.3. Plus petite dimension d'un atrium

La plus petite dimension d'un atrium est définie comme étant le diamètre du cylindre droit s'inscrivant sur toute la hauteur de l'atrium, dans l'espace libre compris entre parois verticales pour les atriums fermés.

> Faisa : Plus petite dimension : 5,22 mètres

Elle correspond à la largeur de l'atrium et des circulations.

1.4. Bases de calcul pour le désenfumage

La section de base de l'atrium est la plus grande des sections horizontales comprises entre les éléments de construction délimitant l'atrium (nez de balcons et/ou parois verticales).

A chaque niveau, la section du vide entre éléments de construction doit être au moins égale à la moitié de cette section de base.

Le volume de base de l'atrium est le produit de cette section de base par la hauteur totale de l'atrium, mesurée au plafond du dernier niveau.

> Faisa : Longeur de l'atrium : 27,55 mètres

Section de base : 143,81 m²

Hauteur totale : 13,19 mètres

2-Règles de construction

2.1. Dimensions des atriums

Conventionnellement, un atrium, qu'il soit à l'air libre ou couvert, est un espace dont la plus petite dimension doit être au moins égale à √7H (H étant la hauteur du plancher bas du niveau le plus haut par rapport au niveau bas de l'atrium) sans être inférieure à 7 mètres.

> Faisa : Hauteur H : 9,36 mètres

√7H = 8,09

Plus petite dimension : 5,22 mètres

Non conforme.

2.2. Produits verriers utilisés dans les atriums

La réaction au feu des produits verriers (minéraux ou de synthèse) utilisés en couverture de l'atrium doit être conforme aux articles CO 16 à CO 18.

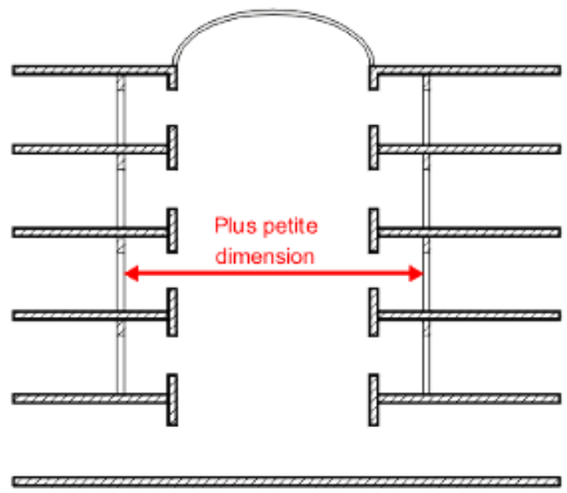
La réaction au feu des produits verriers isolant éventuellement les niveaux situés dans la partie supérieure du volume libre intérieur (cf. 3.2.4) doit être de catégorie M2.

> Faisa : Les éléments verriers qui séparent la circulation en R+3 doivent être de catégorie M2. Conforme.

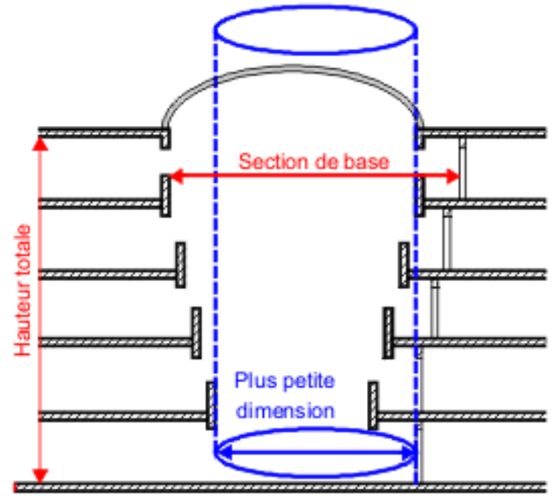
2.3. Façades

La règle dite du (C + D), définie à l'article CO 21 (§ 3b) du règlement de sécurité, s'applique obligatoirement à l'ensemble des façades intérieures des atriums. De plus, en aggravation des dispositions de l'article CO 20 (§ 1), les revêtements extérieurs des façades intérieures des atriums couverts doivent être de catégorie M2.

> Faisa : Ne prévoit pas de modification en façade. Pas de sujet.



Atrium couvert fermé, Site Sécurité



Section et volume de base d'un atrium, Site Sécurité

CADRE RÉGLEMENTAIRE INCENDIE

3-Désenfumage

3.2. Atriums couverts

3.2.1. Règles générales

a) Afin d'éviter tout mouvement de fumée vers l'atrium, les locaux ou les circulations horizontales adjacents seront désenfumés conformément aux articles 3.3.1 à 3.3.4.

3.2.2. Désenfumage

a) La surface libre des évacuations de fumée peut être réalisée soit par des exutoires, soit par des ouvrants placés sur des façades différentes. En position de fonctionnement, le dispositif d'obturation de ces ouvertures ne doit pas faire obstacle à l'écoulement normal des fumées.

b) En désenfumage naturel, les amenées d'air doivent avoir une surface libre équivalente à celle des évacuations de fumée.

> Faisa : Actuellement, l'évacuation des fumées est opérée par 6 ouvrants placés en partie haute de l'atrium, en façade Nord. Leur déclanchement est automatique et commandé par système de détection automatique d'incendie.

Les amenées d'air sont assurées par 6 ouvrants suités en partie basse de l'atrium, sur la même façade. Les ouvrants hauts et bas ont la même surface libre. Conforme.

3.2.4. Autres atriums

Afin d'empêcher l'envahissement des étages supérieurs par les fumées, il est indispensable d'isoler de l'atrium les niveaux situés dans la moitié supérieure du volume désenfumé par des éléments de construction fixes, disposés à la périphérie du vide entre éléments de construction (nez de balcons ou parois verticales) : les éléments verriers visés au § 2.2 sont suffisants.

La mise en place de ces éléments est sans influence sur la détermination de la plus petite dimension de l'atrium ; de plus, les locaux ou dégagements ainsi isolés sont désenfumés dans les mêmes conditions que les niveaux inférieurs (fig. 7).

> Faisa : Les éléments verriers qui séparent la circulation en R+3 doivent être de catégorie M2. Conforme.

Désenfumage naturel :

L'évacuation naturelle des fumées sera assurée par des ouvertures situées en partie haute de l'atrium et représentant une surface libre égale au 1/15e de la section de base du volume à désenfumer.

Les amenées d'air naturelles seront situées en partie basse de l'atrium.

> Faisa : Section de base : 143,81 m²

1/15 de la surface précédente : 9,59 m²

Surface libre des ouvertures pour l'évacuation des fumées : 0.823 m² x 6 = 4,94 m²

Non conforme.

3.3. Désenfumage des volumes adjacents à l'atrium

3.3.1. Généralités

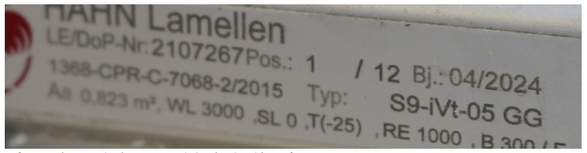
a) Dans tous les cas, les circulations horizontales ouvertes sur l'atrium sont désenfumées.

b) Les locaux et les circulations périphériques, dont le désenfumage est exigé aux paragraphes 3.3.2 à 3.3.4, doivent être séparés de l'atrium par des écrans de cantonnement fixes, M0 et SF 1/4 d'heure. La retombée sous plafond sera au minimum de 0,50 mètre et, pour les hauteurs libres de fumée supérieures à 2 mètres, elle descendra 0,50 mètre en dessous du point bas de la bouche d'extraction.

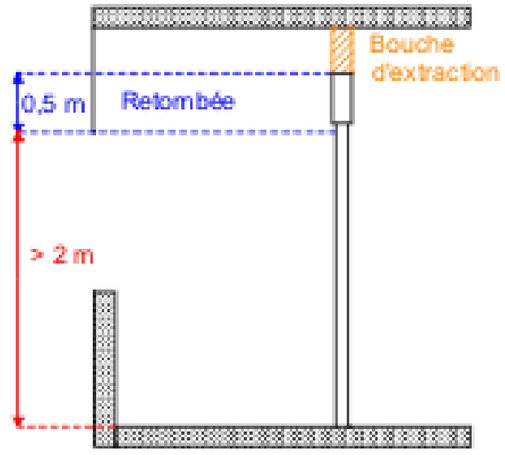
> Faisa : Hauteur libre de fumée : 2,40 mètres

Écran de cantonnement : 0,50 mètre

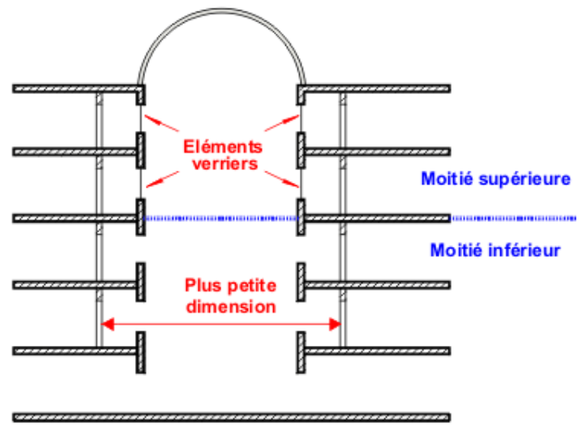
Absence de bouches d'extraction. Non conforme.



Informations relatives aux châssis de désenfumage, LSAA



Retombées sous plafond (écrans de cantonnement), Site Sécurité



Isolement des niveaux supérieurs, Site Sécurité

CADRE RÉGLEMENTAIRE INCENDIE

Arrêté du 25 juin 1980 portant approbation des dispositions générales du règlement de sécurité contre les risques d'incendie et de panique dans les établissements recevant du public (ERP).

Article GN 10

Application du règlement aux établissements existants

§ 2. Lorsque des travaux de remplacement d'installation, d'aménagement ou d'agrandissement sont entrepris dans ces établissements, les dispositions du présent règlement sont applicables aux seules parties de la construction ou des installations modifiées.

Conclusion

Au regard du nombre de non conformités à l'IT263, postérieur au dépôt du permis de construire de l'Atrium, il semble opportun de s'appuyer sur l'article GN 10 pour le remplacement de la verrière. Par ailleurs, aucun désenfumage n'étant présent actuellement au niveau de la verrière, l'étude présente des variantes selon les dispositifs existants.

Aussi, une consultation du SDIS et d'un bureau de contrôle dès le démarrage du projet sera primordial pour acter la faisabilité.

CADRE RÉGLEMENTAIRE CODE DU TRAVAIL

Pour l'entretien et la maintenance de la verrière, il faut se référer au code du travail qui donne les dispositions particulières applicables à l'exécution de travaux temporaires en hauteur.

Code du travail - Partie réglementaire - Quatrième partie - Livre III - Titre II - Chapitre III - Section 8 : Dispositions particulières applicables à l'exécution de travaux temporaires en hauteur et à certains équipements de travail utilisés à cette fin

Sous-section 1 : Travaux réalisés à partir d'un plan de travail

Article R4323-58

Les travaux temporaires en hauteur sont réalisés à partir d'un plan de travail conçu, installé ou équipé de manière à préserver la santé et la sécurité des travailleurs.

Le poste de travail est tel qu'il permet l'exécution des travaux dans des conditions ergonomiques.

Article R4323-59

La prévention des chutes de hauteur à partir d'un plan de travail est assurée :

1° Soit par des garde-corps intégrés ou fixés de manière sûre, rigides et d'une résistance appropriée, placés à une hauteur comprise entre un mètre et 1,10 m et comportant au moins :

a) Une plinthe de butée de 10 à 15 cm, en fonction de la hauteur retenue pour les garde-corps ;

b) Une main courante ;

c) Une lisse intermédiaire à mi-hauteur ;

2° Soit par tout autre moyen assurant une sécurité équivalente.

Article R4323-60

Lorsque les dispositions de l'article R. 4323-59 ne peuvent être mises en œuvre, des dispositifs de recueil souples sont installés et positionnés de manière à permettre d'éviter une chute de plus de trois mètres.

Article R4323-61

Lorsque des dispositifs de protection collective ne peuvent être mis en œuvre à partir d'un plan de travail, la protection individuelle des travailleurs est assurée au moyen d'un système d'arrêt de chute approprié ne permettant pas une chute libre de plus d'un mètre ou limitant dans les mêmes conditions les effets d'une chute de plus grande hauteur.

Lorsqu'il est fait usage d'un tel équipement de protection individuelle, un travailleur ne doit jamais rester seul, afin de pouvoir être secouru dans un délai compatible avec la préservation de sa santé.

L'employeur précise dans une notice les points d'ancrage, les dispositifs d'amarrage et les modalités d'utilisation de l'équipement de protection individuelle.

> Faisa : Des gardes-corps existent au niveau des façades Est, Sud et Ouest. Mais il n'existe aucun dispositif de protection collective au niveau de la façade Nord. Non conforme.

En revanche la verrière est munie de vitrages feuilletés et dimensionnés pour résister aux charges de 1200 J.



Absence de protection collective en façade Nord, LSAA



Garde-corps en façade Sud, LSAA

2. ANALYSE DE L’EXISTANT

RÉPARTITION PROGRAMMATIQUE DE L'EXISTANT

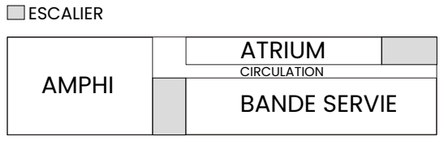
Le bâtiment est construit sur 6 niveaux ; en R+4 sur sous-sol partiel.

Le tiers Ouest du bâtiment est consacré aux deux amphitéâtres situés l'un au-dessus de l'autre.

Le reste du bâtiment est séparé en trois parties; l'atrium en façade Nord, les circulations horizontales et une bande servie avec différents types de locaux en façade Sud. Les circulations horizontales sont des coursives ouvertes sur l'atrium.

L'atrium est placé entre deux cages d'escalier. La cage d'escalier principale centrale est accessible depuis le parvis, elle permet de desservir les coursives de l'atrium et les deux amphithéâtres.

La cage d'escalier secondaire, en façade Est, dessert l'autre extrémité des coursives.



SOUS-SOL
Locaux techniques
Partie inférieure de l'amphithéâtre 1

ENTRE SOUS-SOL ET RDC
Cafétéria

RDC
Atrium : Espace de circulation et de travail
Logement de fonction et des salles informatiques
Amphithéâtre 1

R+1
Atrium : Coursive
Salles de classes

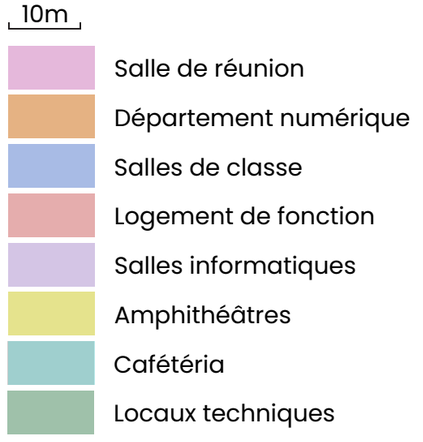
R+2
Atrium : Coursive
Salles de classes
Amphitéâtre 2

R+3
Atrium : Coursive
Salle réunions et département numérique

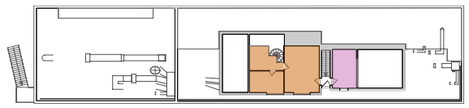
R+4
Salle réunions et département numérique

Dans les étages, les espaces sont orientés Sud et ne bénéficient d'aucun apport en lumière naturelle par l'atrium.

Au RDC, les salles informatiques disposent d'ouvertures en façade Sud mais sont aussi en second jour en façade Nord. Elles bénéficient néanmoins d'un éclairage naturel suffisant et la modification de la toiture ne risque pas d'impacter leur ensoleilement.



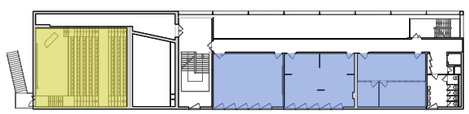
R+4



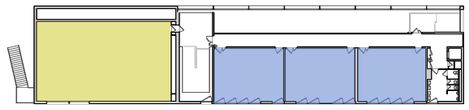
R+3



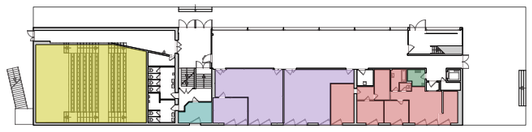
R+2



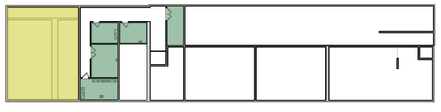
R+1



RDC



Sous-sol



PRINCIPE STRUCTUREL DU BÂTIMENT

À l'exception du volume de l'atrium, le bâtiment est construit en voiles béton porteurs. Ils sont repérés en gris sur le plan ci-dessous.

Dans l'atrium, il y'a deux ossatures ; une ossature principale en acier, portant la façade ainsi qu'une ossature secondaire en aluminium, support de la verrière.

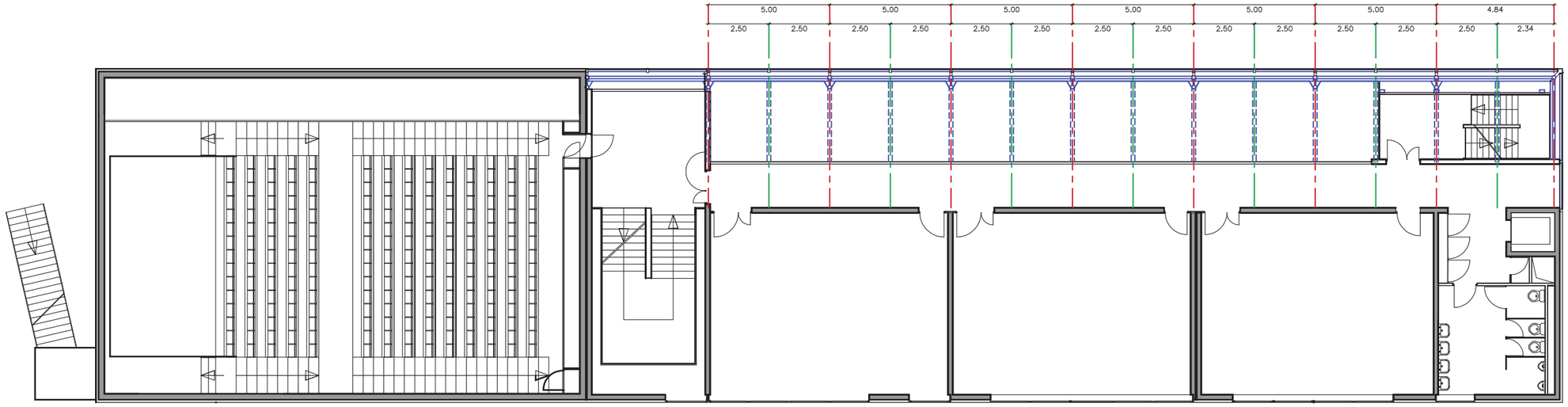
L'ossature principale est également support de l'ossature secondaire.

L'entraxe des poteaux et portiques de l'ossature principale est de 5 mètres. Des poutres intermédiaires sont positionnées à l'axe entre chaque portique.



Ossature secondaire

Ossature principale



Axes poteaux et portiques ossature principale

Axes poutres intermédiaires ossature principale

Plan du R+2, 1/200, LSAA

PRINCIPE STRUCTUREL DU BÂTIMENT

Ossature principale en acier avec 5 mètres d'entraxe :

> Poteaux : double tube creux sur chaque trame (diamètre 139,7 mm) et simple tube creux à l'angle Est.

> Portiques (tous les 5 m) : double tube creux (diamètre 139,7 mm)

> Poutres intermédiaires (à l'axe entre chaque portique) : simple tube creux (diamètre 139,7 mm)

> Poutre fronton : 4 tubes creux (diamètre 115,3 mm)

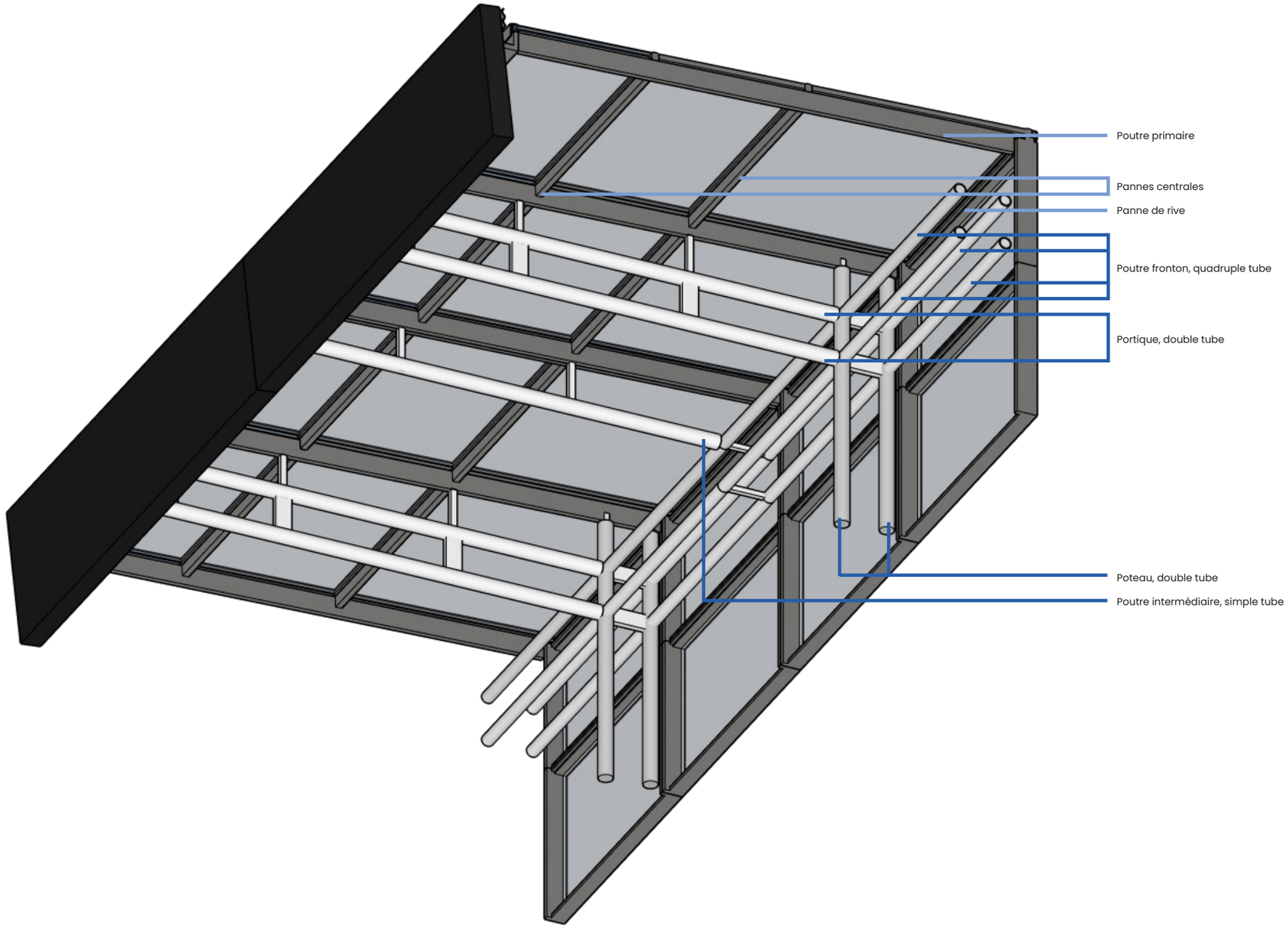
> Traverses horizontales de façade : tube creux (diamètre 114,3 mm) avec raidisseur plat soudé (section 100 x 10 mm)

Ossature secondaire en aluminium avec 2,5 mètres d'entraxe :

> Poutres primaires : tube creux (section 60/200)

> Pannes centrales : tube creux (section 60/95)

> Pannes de rive : indéterminées (inaccessibles)



Axonométrie, vue du dessous, LSAA

PRINCIPE STRUCTUREL DU BÂTIMENT

Les deux ossatures sont solidarisées par trois potelets en acier situés entre le portique acier et la poutre primaire aluminium.

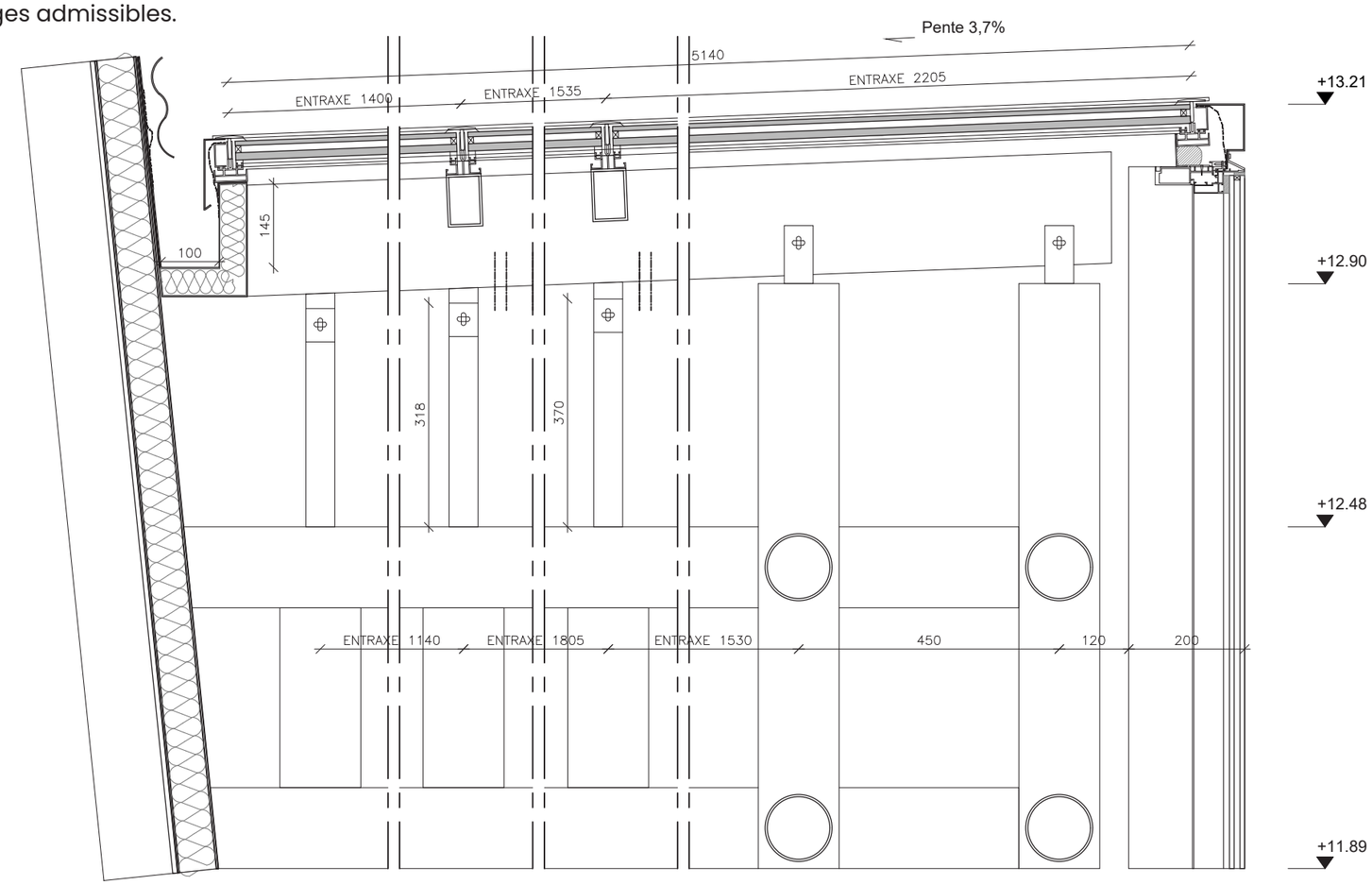
Il est important de noter que la nuance d'aluminium n'est pas connue et qu'une hypothèse a été faite pour le calcul des charges admissibles.

Les calculs montrent que le poids total du complexe ne devra pas excéder 60 kg/m².

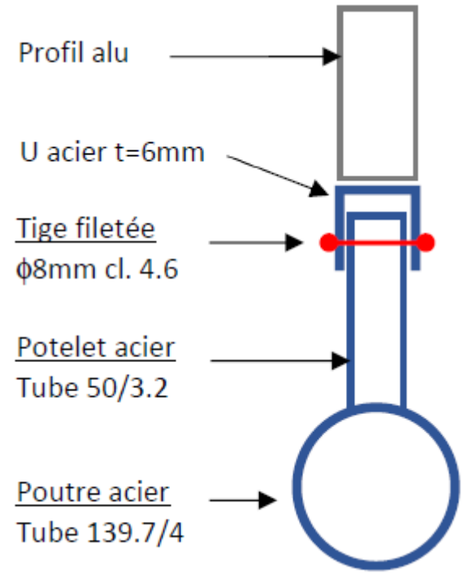
Il s'agit d'un poids surfacique total, qui inclut le poids du support actuel s'il devait être conservé.

L'épaisseur du vitrage actuel est de 20mm, soit un poids surfacique de 50 kg/m² et autorise ainsi une réserve de charge de 10 kg/m².

Cette mise en évidence sera prise en compte dans la suite de la faisabilité.



Coupe verticale sur verrière et ossatures existantes, 1/10, LSAA



Assemblage ossatures principale et secondaire, SECBTP

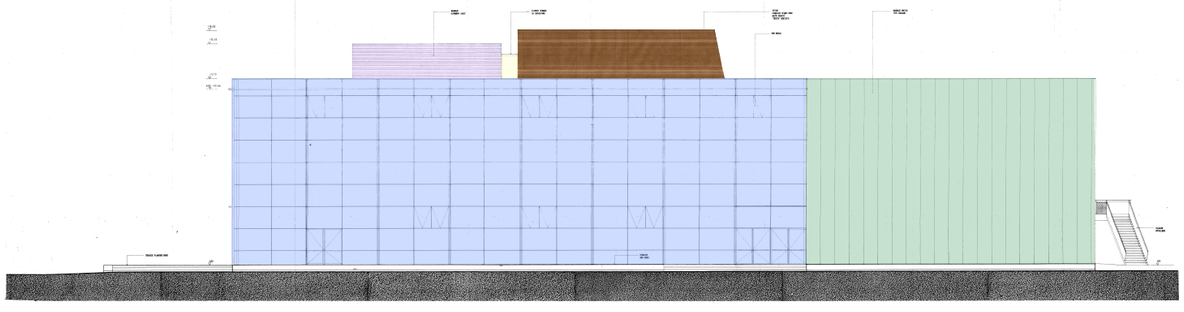
PRINCIPE D’ENVELOPPE DU BÂTIMENT

Le bâtiment est composé d’un volume principal monolithique en R+3 surmonté de deux édicules au R+4.

Au Nord, un tiers de la façade est plein et ses deux autres tiers sont vitrés.

- partie vitrée : mur rideau aluminium support de châssis en Verre Extérieur Collé, munis d’ouvrants de désenfumage et de portes vitrées
- partie pleine : panneaux sandwichs en aluminium
- édicule Est : ITE + vêture Trespa
- édicule Ouest : ITE + tôle aluminium ondulée thermolaquée

Mur rideau aluminium support de châssis en Verre Extérieur Collé
Bardage vertical en panneaux sandwichs en aluminium Isowand
Vêture Trespa
Tôle aluminium ondulée thermolaquée
Fenêtre aluminium format carré
Verrière



Façade Nord, sans échelle



Mur rideau aluminium, LSAA



Panneaux sandwichs en aluminium, LSAA



Vêture Trespa, LSAA



Tôle aluminium ondulée thermolaquée, LSAA

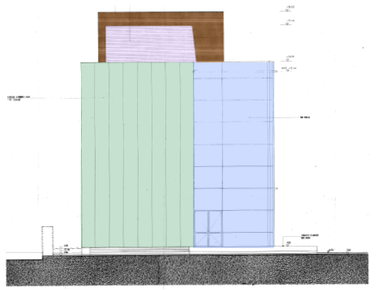
PRINCIPE D’ENVELOPPE DU BÂTIMENT

La façade Est du volume principal est constituée de la partie vitrée à l’avant de l’atrium et d’une partie pleine, bardée de panneaux sandwichs.

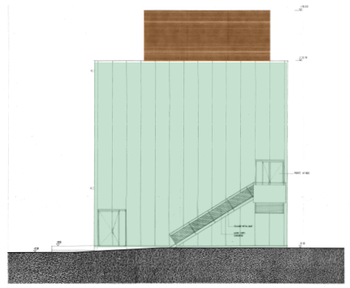
Les façades Sud et Ouest sont complètement bardées des même panneaux sandwichs.

En façade Sud, on retrouve la même composition qu’en façade Nord avec un tiers plein au niveau des amphithéâtres. Les deux autres tiers sont partiellement vitrés par des fenêtres aluminium aux dimensions carrées.

- Mur rideau aluminium support de châssis en Verre Extérieur Collé
- Bardage vertical en panneaux sandwichs en aluminium Isowand
- Vêture Trespa
- Tôle aluminium ondulée thermolaquée
- Fenêtre aluminium format carré



Façade Est, sans échelle, UNISTRA



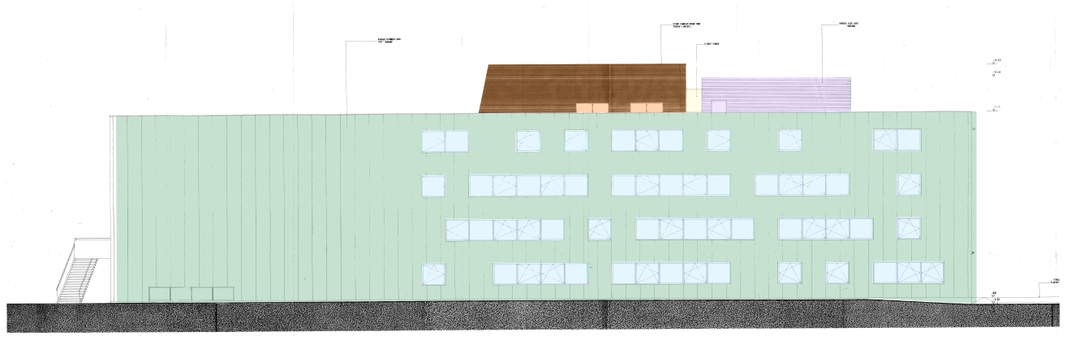
Façade Ouest, sans échelle, UNISTRA



Mur rideau aluminium, LSAA



Panneaux sandwichs en aluminium, LSAA



Façade Sud, sans échelle, UNISTRA

PRINCIPE D’ENVELOPPE DU BÂTIMENT

Les toitures terrasses du bâtiment sont étanchées.

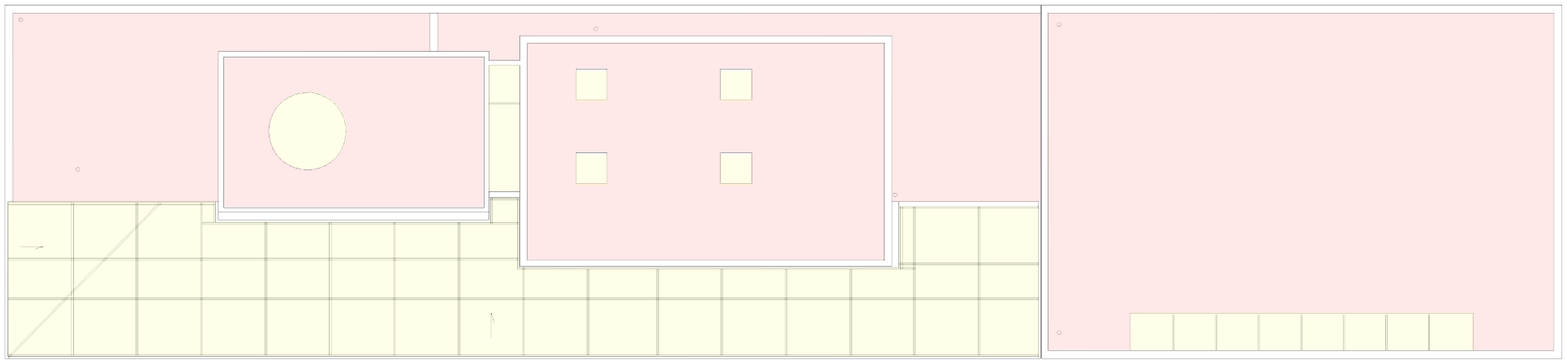
On trouve plusieurs verrières en toiture :

- la verrière de l’atrium,
- la verrière entre les deux édicules au R+4,
- la verrière de l’amphithéâtre,
- la verrière ronde sur l’édicule Est,
- les 4 verrières carrées sur l’édicule Ouest.

Seul le remplacement des trois premières verrières est envisagé pour cette étude.

Verrière

Toiture terrasse avec étanchéité bitumineuse



Plan de toiture, sans échelle, LSAA



Verrière de l’amphithéâtre, LSAA



Verrière entre les deux édicules, LSAA



Verrière ronde, LSAA



Reprise de l’étanchéité de la toiture terrasse, avril 2025, LSAA

PRINCIPE D’ENVELOPPE DU BÂTIMENT

L’analyse des DOE de l’entreprise Joly + Cie fait ressortir les éléments suivants :

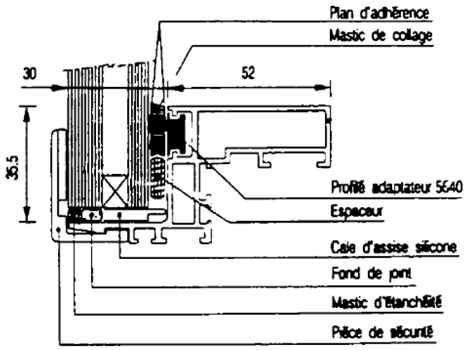
L’atrium est constitué de deux murs rideaux en façades Nord et Est. Les produits verriers sont collés au mastic silicone sur un profilé adaptateur en alliage aluminium solidaire des cadres fixes.

En façade Nord, il est composée de trames de 2,5 mètres de large (la moitié de la trame structurelle) et 1,56 mètres de haut (sauf pour les travées basses et hautes, qui mesurent respectivement 0,96 mètre et 1,23 mètre).

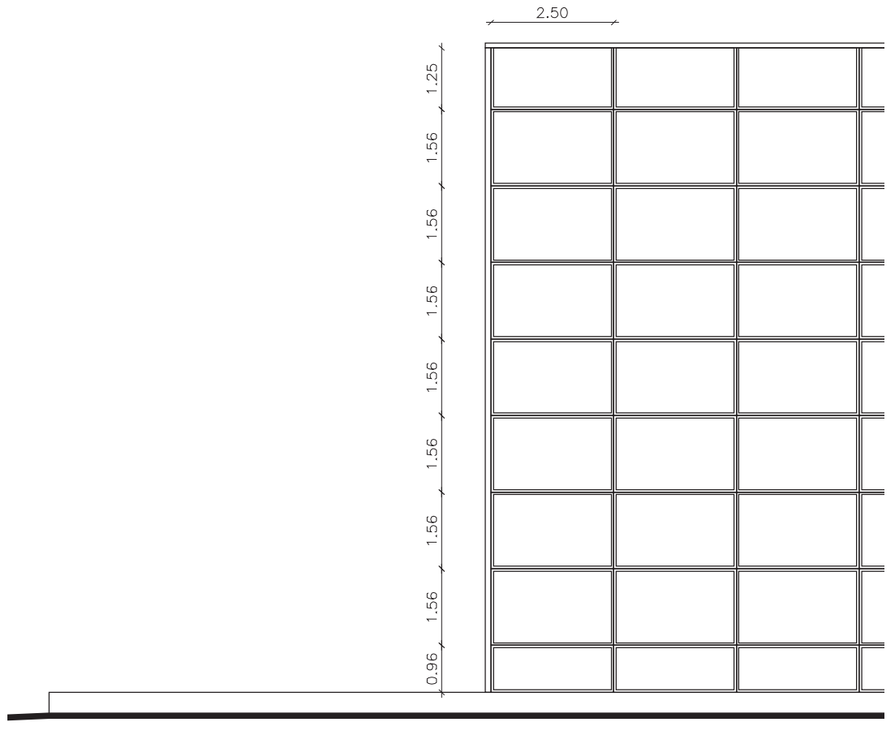
Les meneaux et traverses du mur rideau sont des profils ‘Alcan série Nuage’ en aluminium anodisé naturel. Le double vitrage messure 27 mm d’épaisseur au total avec deux vitres de 6 mm et un vide d’air de 15 mm.

L’avis technique N°2/96-465 de 1996 annule et remplace l’avis technique 2+6/92-272 du produit posé. Il a pu être consulté et est annexé à la présente étude. Les détails du mur rideau sont conformes à ceux dessinés dans l’avis technique.

La structure de la verrière est courante : le vitrage est pris entre les meneaux et les traverses. À l’extérieur, des serreurs plats doivent assurer l’étanchétité à la jonction des différents vitrages. Il créent des ressauts. Leur relief de 5 mm et la pente trop faible de la verrière sont à l’origine des rétentions d’eau en toiture.



Détail vitrage bordé, sans échelle, avis technique N°2/96-465



Extrait façade Nord, 1/100, LSAA



Photo du vitrage collé, LSAA

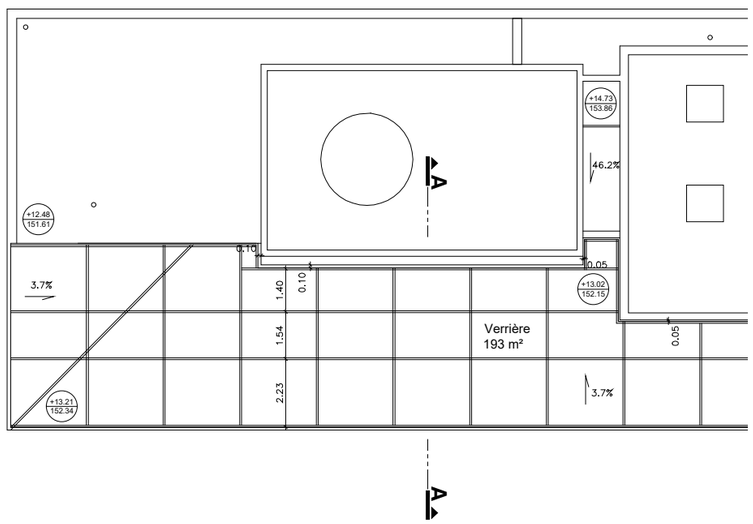


Photo des montants et traverses du mur rideau, LSAA

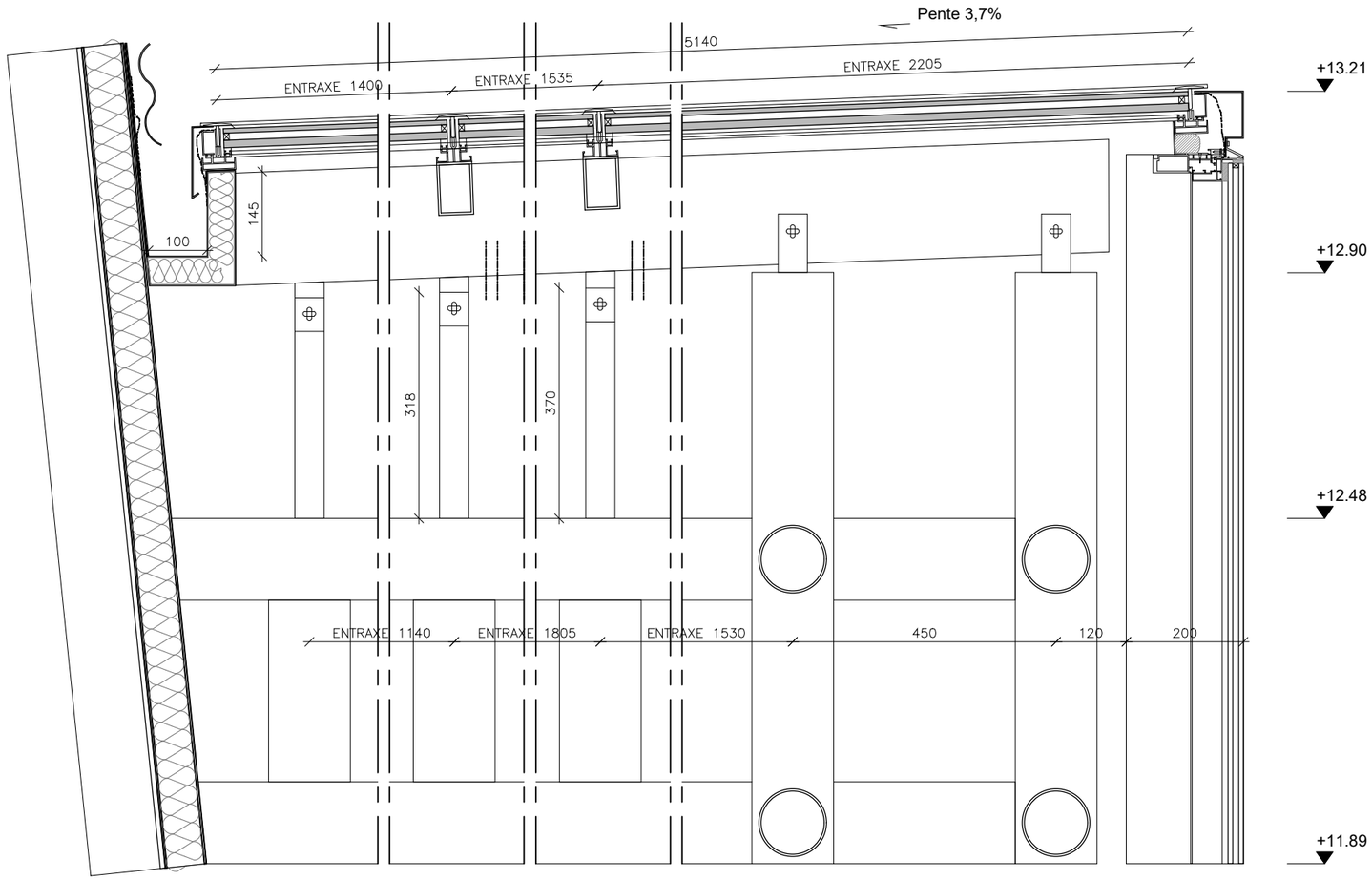
PRINCIPE D’ENVELOPPE DU BÂTIMENT

Les éléments vitrés en toitures sont calepinés en cohérence avec le mur rideau. Leur longueur est variable avec des entraxes de 2,205 mètres, 1,535 mètre et 1,40 mètres pour la partie la plus large.

Les meneaux et traverses de la verrière sont des profils Schuco série SK60 en aluminium anodisé naturel. Le double vitrage de la verrière est composé d’un vitrage extérieur de 8 mm, d’un vide d’air de 12 mm et d’un vitrage intérieur feuilleté trempé (66/2) de 12,76 mm d’épaisseur.



Extrait plan de toiture, 1/200, LSAA



Coupe verticale sur verrière AA, 1/10, LSAA

PRINCIPE D'ENVELOPPE DU BÂTIMENT

Le désenfumage de l'atrium et des escaliers est assuré en façade Nord par des châssis asservis.

Dans les circulations verticales, les châssis à l'italienne d'origine sont conservés pour une surface libre calculée de 1m². On trouve un châssis en partie haute de chaque escalier.

Les 12 autres châssis, situés dans l'atrium, ont été remplacés par des châssis de désenfumage à lames. Les 6 châssis situés en partie basse assurent l'amenée d'air et les 6 autres, en partie haute, assurent l'évacuation des fumées.

C'est le modèle S9-iVt-05 de chez Hahn Lamellen dont fiche technique est annexée à la présente étude. **Leur surface libre est de 0,823 m². La surface totale d'amenée d'air est de 4,938 m². La surface d'extraction est également de 4,938 m².**

L'accès principal du bâtiment se trouve en façade Nord, à proximité directe du tiers plein des amphithéâtres.

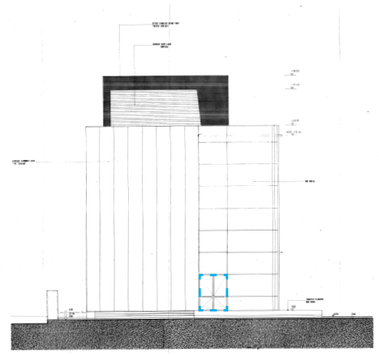
Des accès secondaires existent en façade Nord et en façade Est.

En façade Ouest, il y'a deux sorties de secours dédiées aux amphithéâtres. La façade Sud ne comporte aucun accès ou sortie.

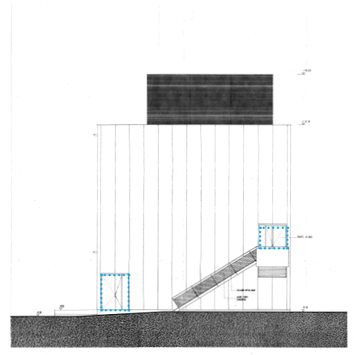
Il n'existe aucune protection solaire particulière pour ces éléments qui sont l'origine principale des inconforts estivaux.



Photo des nouveaux châssis de désenfumage, LSAA



Façade Est, sans échelle, UNISTRA



Façade Ouest, sans échelle, UNISTRA

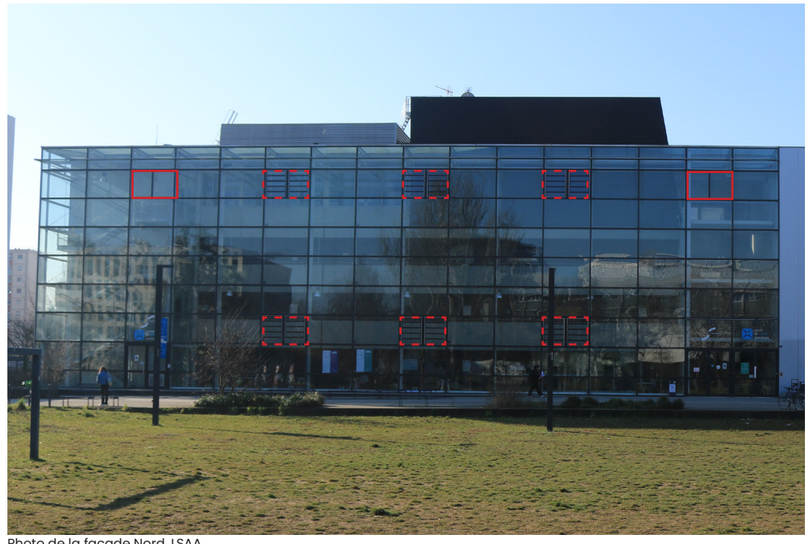
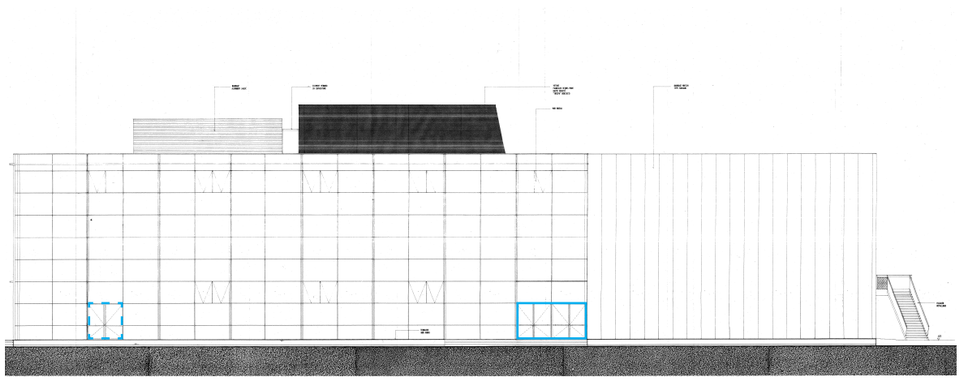


Photo de la façade Nord, LSAA

Châssis de désenfumage remplacé Châssis de désenfumage d'origine



Façade Sud, sans échelle, UNISTRA

Accès principal Accès Sortie de secours

PRINCIPE D’ENVELOPPE DU BÂTIMENT

Le bâtiment a trois niveaux de toiture.

Les altimétries des toitures terrasse des deux édicules sont de 16,53 mètres et 15,48 mètres.

La troiture du volume principal, à 12,48 mètres, est séparée en trois bassins distincts. Les eaux de pluie en toiture sont gérées par bassins. On compte 2 descentes pour chacun d’entre eux.

La pente de la verrière est de 3,7%. À l’angle Est, il existe une partie triangulaire, pentée à 3,7%, perpendiculairement au reste de la verrière. Cette partie permet de ramener les eaux de pluie sur le bassin 1 de la toiture terrasse.

Une partie des eaux pluie de la verrière sont récupérées dans un chéneau repéré en bleu sur le plan. La surface totale de la verrière est de 193 m². La partie repérée en rouge sur le plan est la surface desservie par le chéneau. Elle fait 113 m². Pour les autres parties de la verrière, les eaux de pluie sont directement déversées sur les bassins 1 et 2.

Aux extrémités du chéneau se trouvent des descentes. À l’Ouest, la descente est proche. À l’Est, elle est plus éloignée.

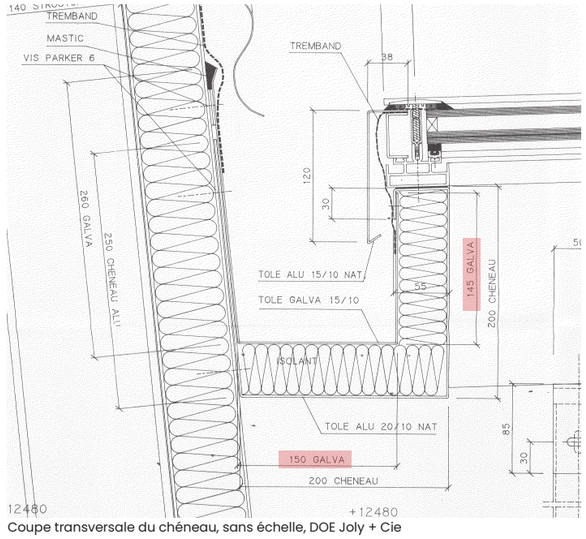
Une stagnation importante des eaux de pluie à été constatée sur place. Elle est supérieure au 2 centimètres réglementaires en toiture terrasse.



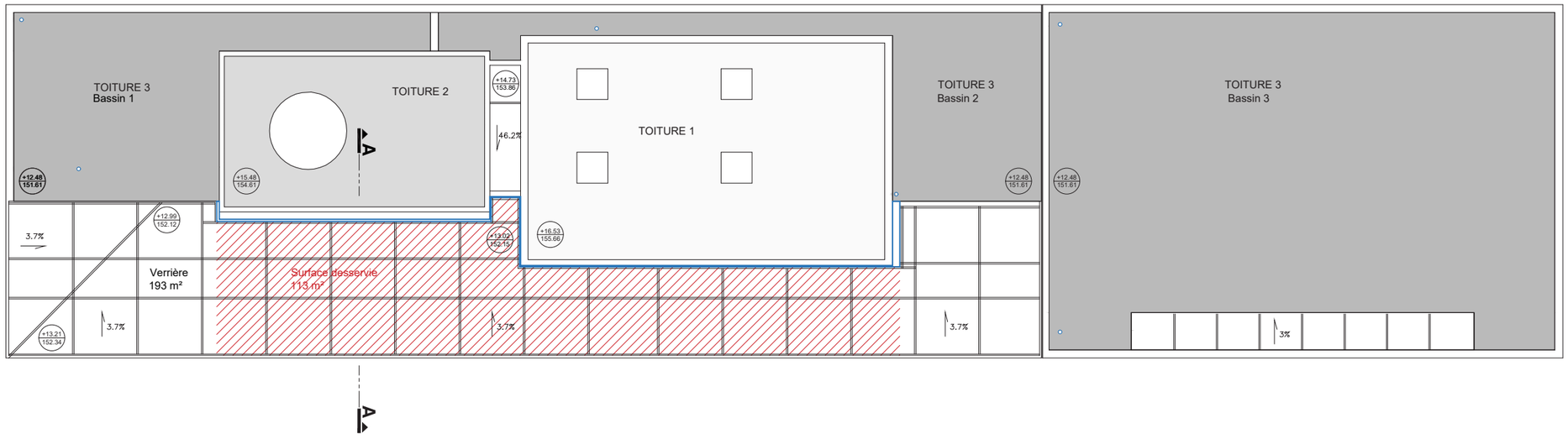
Extrémité Est du chéneau, LSAA



Descente Ouest du chéneau, LSAA



Coupe transversale du chéneau, sans échelle, DOE Joly + Cie



Plan de toiture, 1/200, LSAA

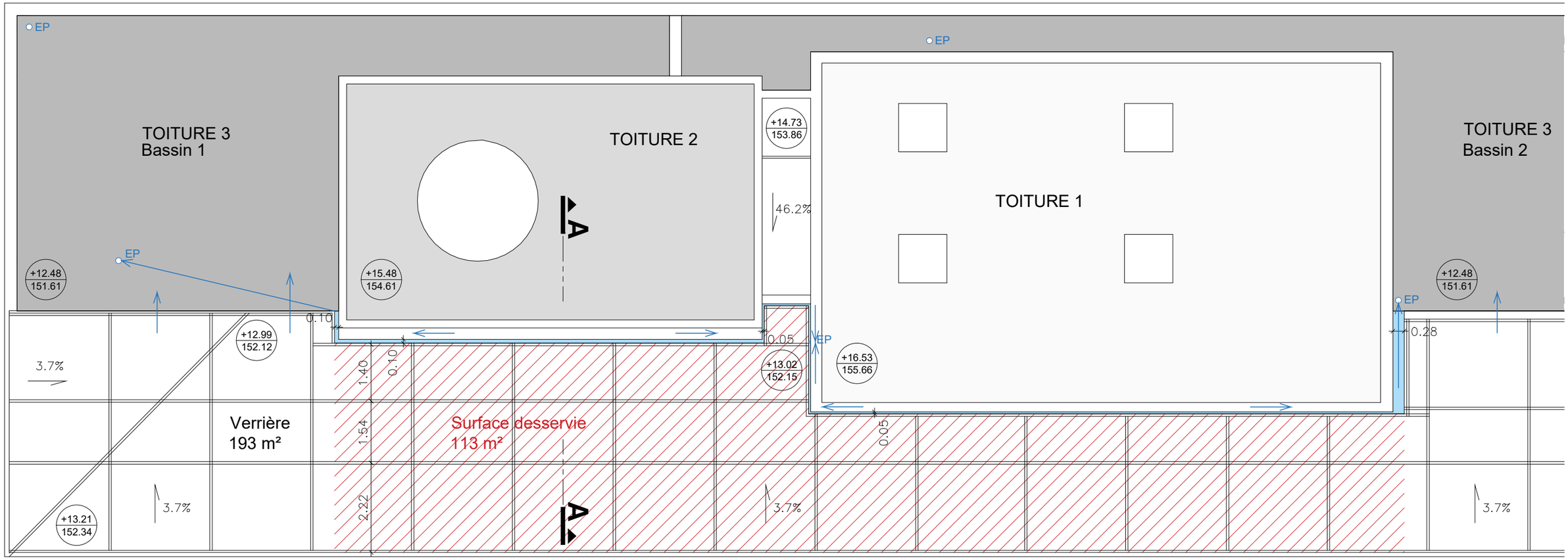
PRINCIPE D'ENVELOPPE DU BÂTIMENT

Le chéneau est repéré en bleu sur le plan. Les flèches bleues donnent le sens d'écoulement des eaux de pluie.

En plus des deux descentes de chaque bassin, il existe une descente intermédiaire au milieu du chéneau. Lors de la visite, nous avons noté que cette descente est à l'origine d'infiltrations au R+3.

Un relevé in situ des dimensions du chéneau met en évidence une section inférieure à celle donnée par les DOE (150 x 145 mm).

Sa profondeur est de 145 mm, conformément aux DOE. Sa largeur, en revanche, est de 100 mm, 50 mm ou 280 mm (voir les côtes sur le plan).



Plan de toiture, 1/100, LSAA

PRINCIPE D'ENVELOPPE DU BÂTIMENT

Le relevé in situ des points hauts et bas du chéneau met en évidence sa pente faible, inférieure à 1 mm/m.

Le DTU 60.11 encadre le dimensionnement des systèmes d'évacuation des eaux pluviales. Le tableau suivant donne les dimensions à respecter pour le chéneau selon la surface de toiture desservie et la pente du conduit.

> Dimensions la plus défavorable du chéneau existant :

5 cm x 14,5 cm = 72,5 cm²

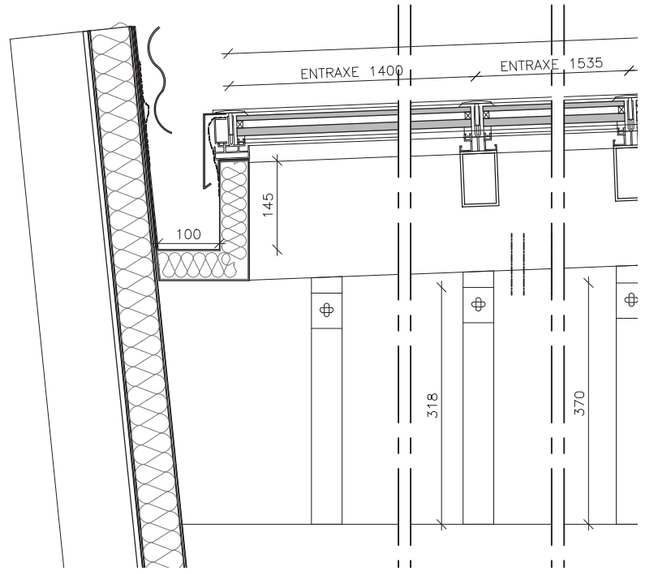
> Surface en plan de la toiture desservie : 113 m²

> Pente du chéneau : < 1 mm/m

Non conforme du DTU 60.11. La section du chéneau devrait être d'au moins 215 cm². Cette non conformité est responsable de certaines pathologies présentées dans la partie suivante.

Surface en plan des toitures desservies (m²)	Pente du conduit (mm/m)							
	≤ 1	2	3	5	7	10	15	20
20	65	50	45	35	35	30	25	20
30	85	70	60	50	45	40	35	30
40	105	80	70	60	55	50	40	35
50	120	95	85	70	65	55	50	45
60	140	110	95	80	70	60	55	50
70	155	120	105	90	80	70	60	55
80	170	135	115	95	85	75	65	60
90	185	145	125	100	95	85	70	65
100	200	155	135	115	100	90	80	70
110	215	170	145	120	110	95	85	75
120	230	180	155	130	115	100	90	80
130	240	190	165	135	120	105	95	85
140	255	200	170	145	130	115	100	90
150	265	210	180	150	135	120	105	95
160	280	220	190	160	140	125	110	100
170	290	230	200	165	145	130	115	100
180	305	240	205	170	150	135	120	105
200	330	255	220	185	165	145	125	115
250	385	300	260	215	190	170	145	135
300	440	340	295	245	220	195	165	150
350	490	380	330	275	245	215	185	170
400	540	420	365	305	270	235	205	185
450	585	460	395	330	290	255	225	200
500	635	490	425	355	315	275	240	215
600	720	560	485	405	360	315	275	245
700	805	630	540	450	400	350	305	275
800	890	690	595	495	440	385	335	305
900	965	750	650	540	480	420	365	330
1 000	1 045	810	700	585	515	455	395	355

Extrait du DTU 60.11



Coupe AA, 1/10, LSAA

CONSTATS ET INCONFORTS THERMIQUES

En plus des problèmes d'étanchéité, le confort thermique de l'atrium n'est pas optimal. On y constate des températures très basses en hiver et très hautes en été.

Le projet vise à améliorer le confort thermique d'hiver et d'été.

Confort d'été

L'importante proportion de vitrage dans l'atrium (en façade et en toiture) et l'absence de protections solaires sont à l'origine des inconforts d'été.

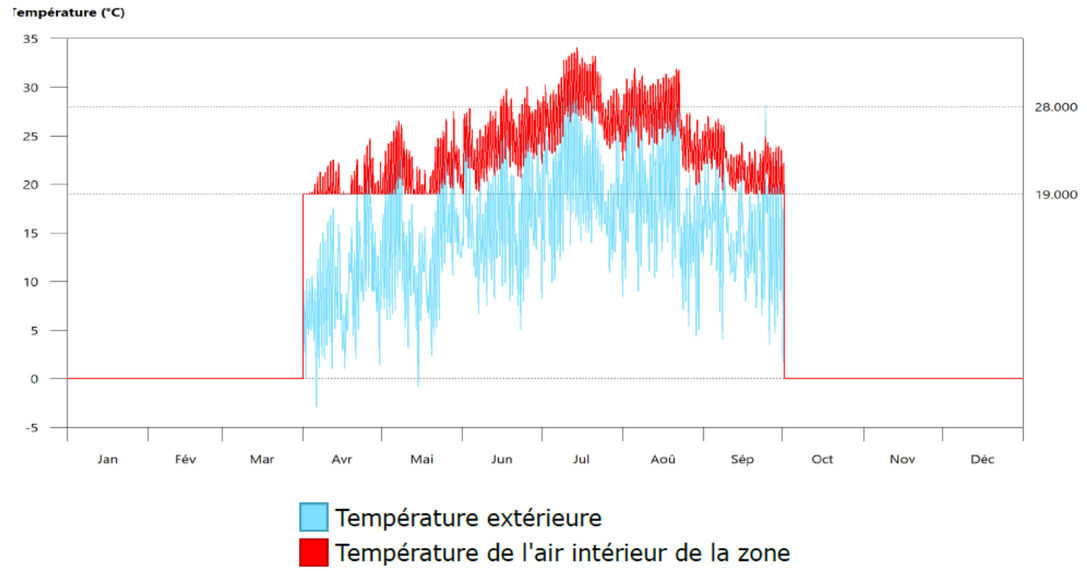
Les vitrages en façade et de la verrière en toiture n'ont pas fait l'objet d'une analyse approfondie permettant de relever précisément leur facteur solaire (FS) et leur coefficient de transmission lumineuse (TL). Par conséquent, nous faisons l'hypothèse que les caractéristiques des vitrages sont comparables à celles des vitrages standards installés dans les bâtiments de la même époque que le projet (construction des années 1990), tout en appliquant un abattement de performance pour tenir compte de la vétusté et du vieillissement des matériaux au fil du temps.

L'étude prend aussi en compte les apports internes générés par la présence des occupants et leurs équipements, et par l'éclairage artificiel. Bien que ces sources contribuent au dégagement thermique à l'intérieur des espaces, leur impact reste globalement faible comparé aux apports solaires, qui constituent la principale source de chaleur dans le bâtiment.

Pour l'état existant, la simulation thermique dynamique (STD) indique 188 heures d'inconfort réparties sur les mois de juin, juillet et août. Les résultats indiqués correspondent à des moyennes de températures dans le volume de l'atrium. Les températures maximales du fait de la stratification de l'air ne sont pas modélisées dans le cadre de cette étude.

Le traitement thermique de la couverture est essentiel pour améliorer le confort estival du bâtiment.

En parallèle, un système de ventilation est préconisé de sorte à améliorer significativement le confort d'été et éviter la stratification de l'air. Des systèmes à fort taux d'induction ou des déstratificateurs d'air couplés à un système de renouvellement d'air de type CTA apparaissent comme des solutions pertinentes. Plus le taux de brassage sera élevé et plus le confort d'été sera maitrisé.



Température maximale de confort (28.0 °C)	Avr	Mai	Jun	Jul	Aoû	Sép	Oct	Annuelle
Tint,max (°C)	24.7	27.5	30.1	34.1	32.0	27.0	22.2	34.1
$T_{int,max}$ (°C)	0	0	55	249	102	0	0	351
$T_{int} > T_{max,conf}$ (Heures/Occupation)	0	0	35	122	66	0	0	188

T_{int}: Température de l'air intérieur de la zone, °C.
$T_{int,max}$: Température maximale de l'air intérieur de la zone, °C.
$T_{max,conf}$: Température maximale de confort, °C.

STD, simulation de base, SYNRGETICS

CONSTATS ET INCONFORTS THERMIQUES

L'atrium présente également un inconfort thermique en hiver. Cet inconfort thermique est dû principalement à l'absence de système de chauffage adapté au volume de l'atrium et au phénomène de rayonnement de parois froides généré par la façade rideau. Le système de chauffage de l'atrium est un plancher chauffant dont la puissance maximale fournie est de 100 W/m² soit une puissance thermique fournie de 15 kW. Les déperditions thermiques dans l'existant sont de 63.7 kW. Le système de chauffage par plancher chauffant est incapable de couvrir les déperditions thermiques du bâtiment.

De sorte à assurer le confort thermique de ce grand volume et d'éviter la stratification des températures d'air, il apparait nécessaire de prévoir un système de chauffage par vecteur air.

Nous préconisons, en réponse aux problématiques de confort d'été et de confort d'hiver, l'installation d'une centrale de traitement d'air CTA dédiée.

Cette conception permettra de brasser et éviter la stratification de l'air et l'inconfort dans les niveaux supérieurs. Elle nécessite un investissement financier relativement conséquent mais non rédhibitoire.

À noter que la toiture terrasse existante permettrait d'accueillir un système de type CTA (sous réserve de validation structurelle). L'installation de tels équipements nécessite des études complémentaires détaillées.

En complément, la façade rideau existante crée un inconfort par rayonnement froid car la conductivité thermique du complexe n'est pas suffisamment performante. Seul un remplacement de façade rideau permettra de limiter cette sensation de froid.

PATHOLOGIES OBSERVÉES

> Détérioration du film en toiture par accumulation d'eau et rayons UV

> Stagnations de l'eau de pluie en toiture au niveau des ressauts en raison de leur relief de 5 mm et de la faible pente de la verrière de 3%

> Mauvais état des joints

> Absence de certains capôts

> Rustines successives au niveau des capôts de la verrière

> Développement de mousses et végétaux dans le chéneau en raison d'une pente insuffisante

> Absence de nettoyage du chéneau dans le cadre de la maintenance du bâtiment

1



2



3



4



PATHOLOGIES OBSERVÉES

> Fuite au niveau de la descente intérmédiaire située au milieu du chéneau

> Infiltrations par la verrière et dégradations des revêtements dans les étages

> Infiltrations par la verrière et dégradations des revêtements dans les étages

> Déformation visible des pannes de rive aluminium de l'ossature secondaire

> Mesure in situ de la flèche : 5 à 10 mm

5



6



7

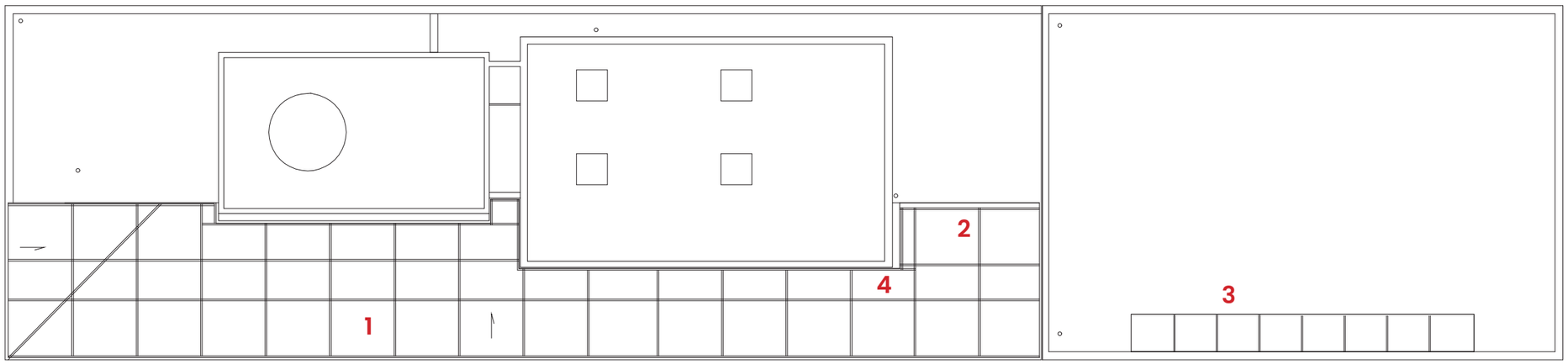


8

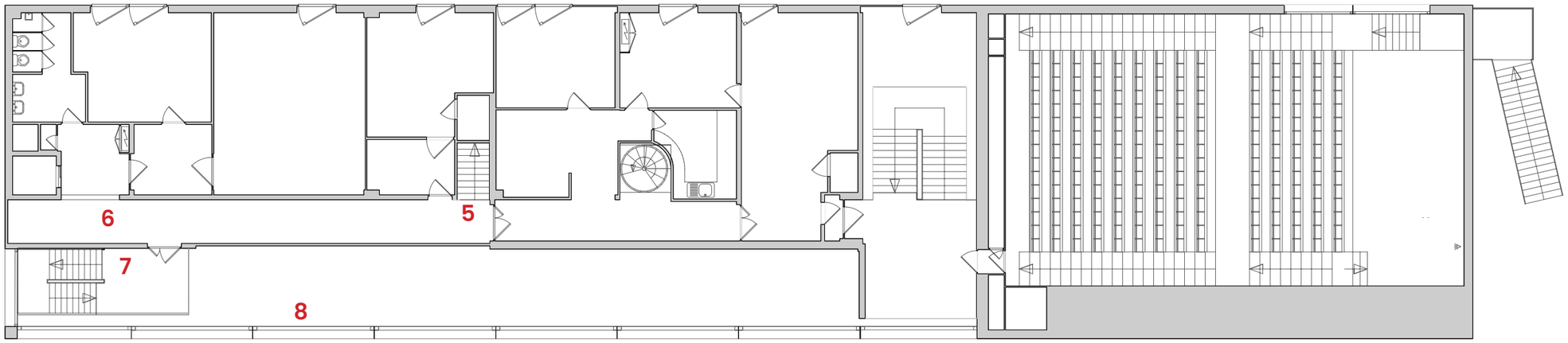


PATHOLOGIES OBSERVÉES

Plans de repérage des pathologies



Plan de toiture, 1/200, LSAA



Plan de R+3, 1/200, LSAA

NON CONFORMITÉS OBSERVÉES

> Gaine VMC de la cage d'escalier, inutilisée aujourd'hui, laissée en place

> Fermeture précaire de la bouche

> Absence de dispositifs de protection collective au niveau de la façade Nord

> Ancienne bouche VMC inutilisée laissée apparente en intérieure

> Absence de descente EP à l'extrémité Est du chéneau, récupération des EP sur la toiture terrasse, stagnation supérieure aux 2 centimètres réglementaires

1



2



3



4



NON CONFORMITÉS OBSERVÉES

> Relevé d'étanchéité inférieur à 15 cm au niveau du chéneau, mauvais dimensionnement du chéneau

> Absence de relevé d'étanchéité entre le baradage ondulé et la verrière située entre les deux édicules

> Pente insuffisante de la verrière de l'amphithéâtre, inférieure à 5°

5



6

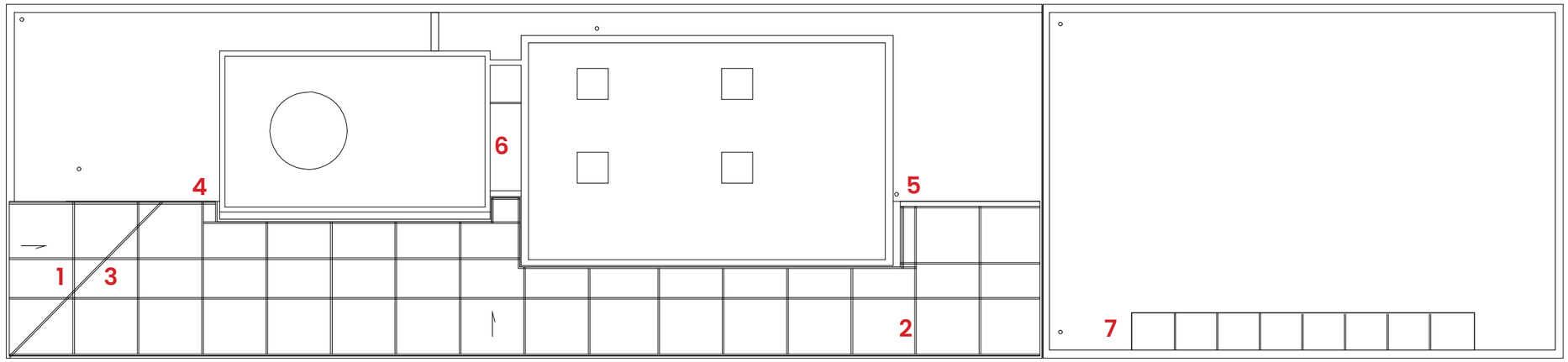


7



NON CONFORMITÉS OBSERVÉES

Plan de repérage des non conformités



Plan de toiture, 1/200, LSAA

3. PRÉCONISATIONS

CONFORT THERMIQUE

Pour assurer le confort thermique de ce grand volume et éviter la stratification des températures d'air, il apparait nécessaire de prévoir un système de chauffage par vecteur air.

Nous préconisons en réponse aux problématiques de confort d'été et de confort d'hiver, l'installation d'une centrale de traitement d'air.

Cette CTA présentera les caractéristiques suivantes :

- conformité pour ERP du 1er groupe,
- CTA avec fonctionnement en recyclage de l'air et apport d'air neuf hygiénique,
- ventilateurs très basse consommation,
- échangeur de récupération à roue ou à plaques Efficacité > 80%,
- batterie eau chaude hydraulique de sorte à couvrir les déperditions (63 kW max),
- gestion du free cooling, ventilation nocturne (maitrise du confort d'été),
- avec ou sans régulation embarquée selon choix du maitre d'ouvrage (à définir en fonction des solutions de GTB).

La CTA pourrait être installée en toiture terrasse technique (sous réserve de faisabilité structurelle).

Le traitement d'air de l'atrium pourra être assuré par des systèmes à très haute induction de sorte à garantir un brassage important de l'air et éviter la stratification de l'air.

Deux solutions peuvent être proposées en première approche. D'autres alternatives pourraient être étudiées par la suite.

Solution 1 : gaine à très haute induction

- Référence produit : gaine de type SINTRA modèle SPIROJET ou MIX IND selon études de conception détaillée. Gaine microperforée assurant une très haute induction.
- Avantage : maitrise parfaite de la température sur toute la hauteur de l'atrium ; système qui parait le plus économique et qui nécessite peu d'entretien du fait du phénomène d'induction autour de la gaine (peu de dépôt de poussière par exemple).

Solution 2 : diffuseur longue portée

- Référence produit : Diffuseur longue portée SCHAKO ; possibilité d'installer une grille.

Les diffuseurs à longue portée peuvent aussi être proposés. Des études techniques sont à mener pour définir la conception de cette solution.

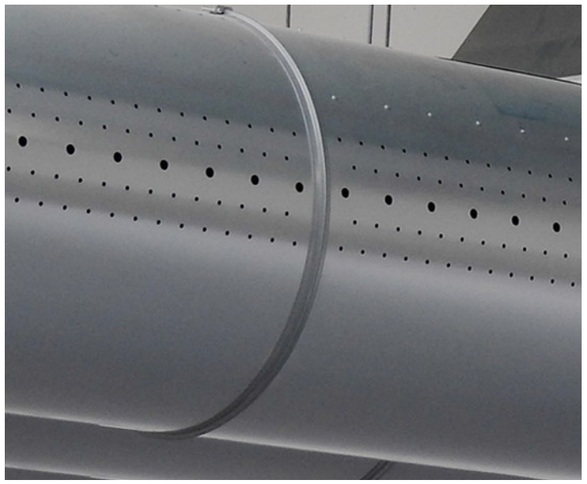
Dans la suite de l'étude, chaque variante est présentée avec la solution 1 en base puis avec la solution 2 en base.

Dans l'estimatif prévisonnel, les montants sont donnés à titre indicatif pour orienter le maitre d'ouvrage et ne peuvent constituer aucun engagement du bureau d'études. De sorte à chiffrer ces solutions, des études de conception et de dimensionnement détaillées sont nécessaires avec consultation des entreprises et des fournisseurs et avec un chiffrage des travaux en hauteur.

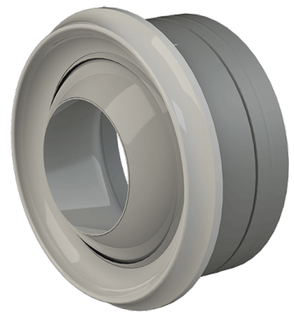
De sorte à améliorer le confort d'hiver de l'atrium, il est impératif d'installer un nouveau système de chauffage par vecteur air. Cette conception permettra de brasser et éviter la stratification de l'air et l'inconfort dans les niveaux supérieurs. Elle nécessite un investissement financier relativement conséquent mais non rédhibitoire.

En complément, la façade rideau existante crée un inconfort par rayonnement froid car la conductivité thermique du complexe n'est pas suffisamment performante. Seul un remplacement de la façade rideau permettrait de limiter cette sensation de froid.

Le traitement thermique de la façade par un film solaire adapté est un levier majeur pour le confort thermique d'été. L'ajout d'un film solaire sur le mur rideau est proposé en option pour la variante 2.



Gaine microperforée, SINTRA



Diffuseur longue portée, SCHAKO

VARIANTE 1 : VERRIÈRE AVEC FILM OPAQUE ET COUVERTURE EN TÔLE NERVURÉE

Préconisation

Cette variante est proposée pour son côté low-tech et parce qu'elle ne nécessite pas de dépose de la verrière existante.

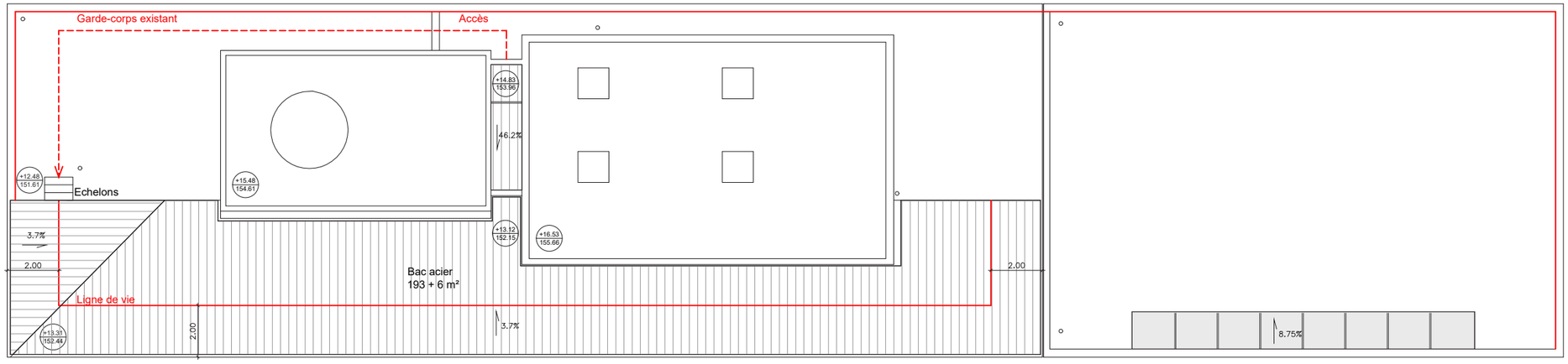
Cette solution résout les problèmes d'étanchéité et limite les apports solaires directs. La STD indique 117 heures d'inconfort d'été, soit une diminution de 38% par rapport à l'état existant.

Elle prévoit :

- la pose d'un bac acier sur la verrière de l'atrium et sur la verrière située entre les deux édicules,
- le remplacement de la verrière de l'amphithéâtre,
- l'ajout de stores motorisés sur la verrière de l'amphithéâtre,
- l'ajout d'une ligne de vie sur la verrière de l'atrium.

Solution	T de confort max	Occupation	Renouv. Air	Ecl	FS mur rideau	R toiture	FS verriere	Inconfort
Base	28°C	15 pers	0,1 Vol/h	8 W/m²	0,55	-	0,3	188 h
S1	28°C	15 pers	0,1 Vol/h	8 W/m²	0,55	-	0,1	117 h
S2	28°C	15 pers	0,1 Vol/h	8 W/m²	0,55	5,25 m2.K/W	0	77 h
S3	28°C	15 pers	0,1 Vol/h	8 W/m²	0,55	4,51 m2.K/W	0	85 h
S4 (1 vol/h)	28°C	15 pers	1 vol/h	8 W/m²	0,55	-	0,1	66 h
S4 bis (2 vol/h)	28°C	15 pers	2 vol/h	8 W/m²	0,55	-	0,1	48 h
S5	28°C	15 pers	0,1 vol/h	8 W/m²	0,3	-	0,3	90 h
S6	28°C	15 pers	0,1 vol/h	8 W/m²	0,3	5,25 m2.K/W	0	00 h

Résultats des simulations thermiques, SYNRGETICS



Principe de toiture, variante 1, 1/200, LSAA

VARIANTE 1 : VERRIÈRE AVEC FILM OPAQUE ET COUVERTURE EN TÔLE NERVURÉE

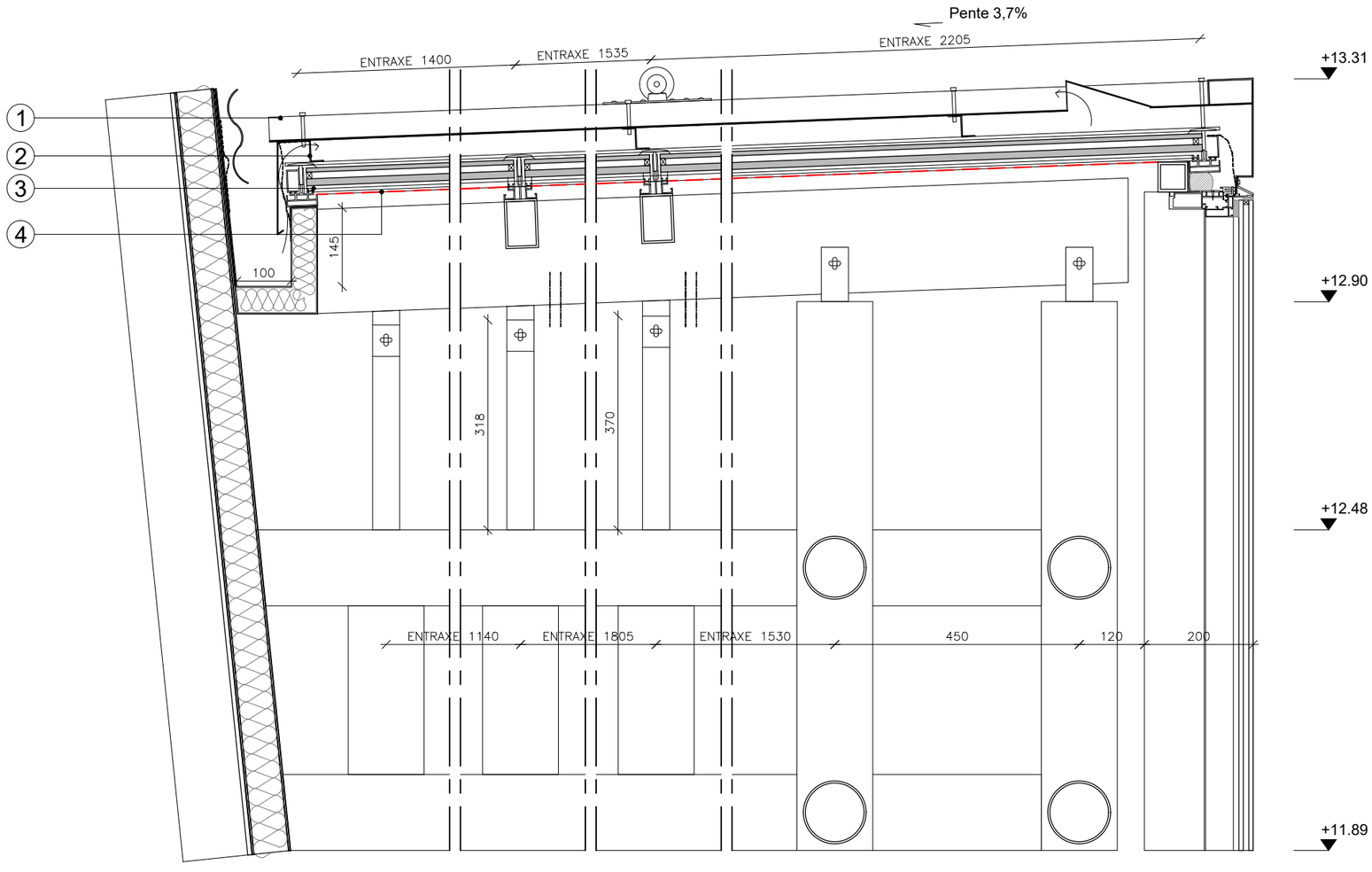
Caractéristiques :

- Epaisseur totale du complexe : 145 mm
- Poids propre : 10 kg/m² pour le bac acier, **respect de la réserve de charge, vérifiée par SECBTP**
- Finition intérieure : Film opacifiant M1, confrome à la réglementation incendie

Avantages :
- Rapiditié de mise en oeuvre
- Maintien de la verrière existante (ossature secondaire et vitrage)
- Résolution des problèmes d'étanchéité

Inconvénients :
- Surcharge par rapport à l'existant
- Pas d'ajout d'isolant complémentaire
- Limite seulement l'apport solaire
- Impossibilité de redimensionner le chéneau
- Réhausse de 10 cm de la rive

① Couverture bac acier 45 mm avec chatière pour ventilation naturelle
② Profilés en Z pour fixation du bac acier
③ Verrière existante
④ Film opaque

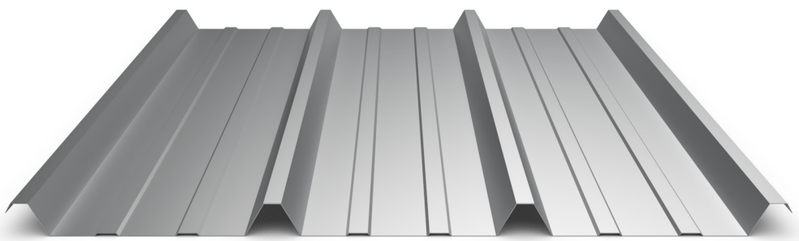


Coupe verticale sur verrière, variante 1, 1/10, LSAA

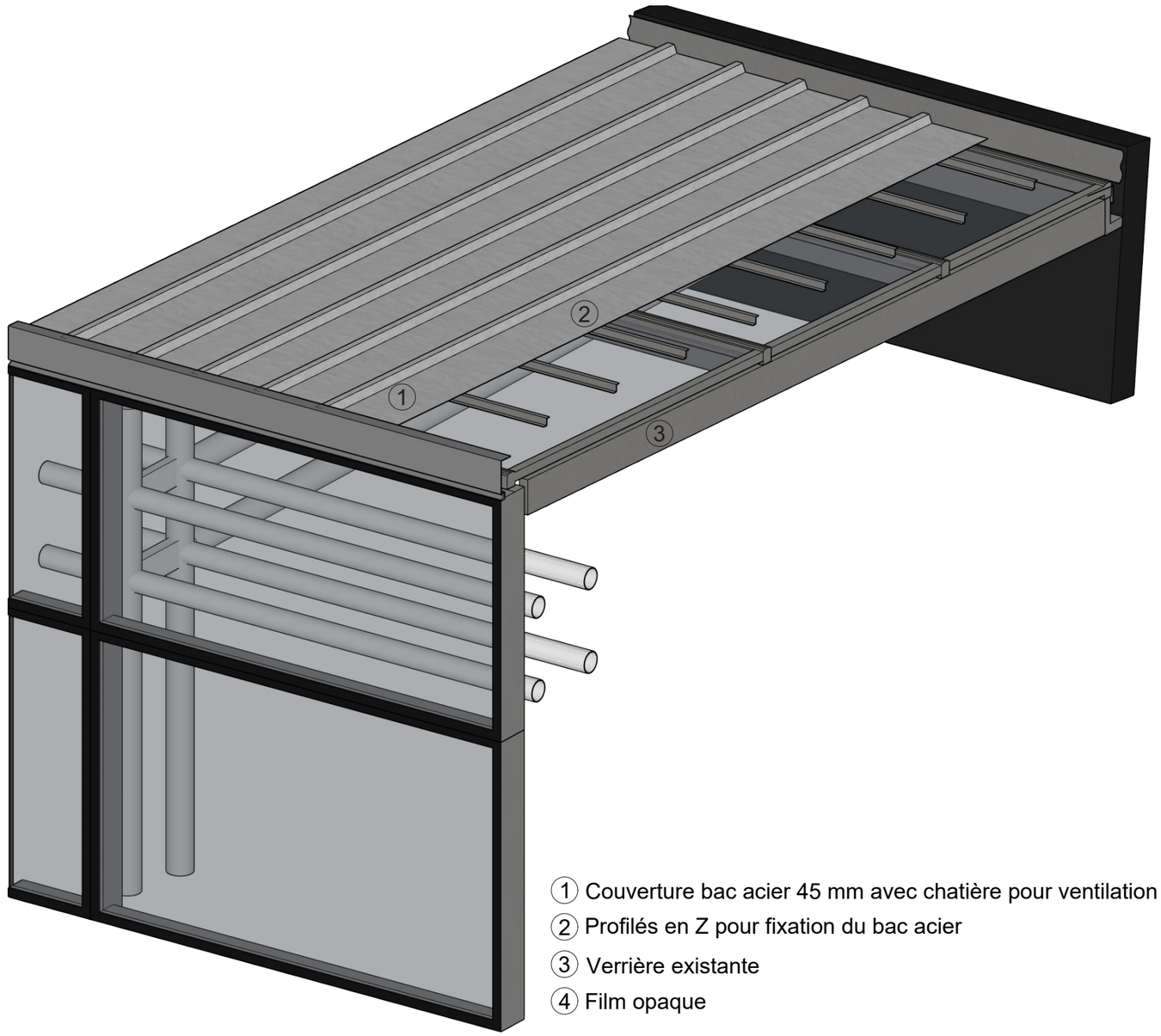
VARIANTE 1 : VERRIÈRE AVEC FILM OPAQUE ET COUVERTURE EN TÔLE NERVURÉE

Le produit proposé pour la couverture est un bac acier aux ondes trapézoïdales. C'est le modèle Trapeza de ArcelorMittal.

Sa fiche technique est annexée au présent rapport.



Bac acier de couverture trapézoïdal, ArcelorMittal



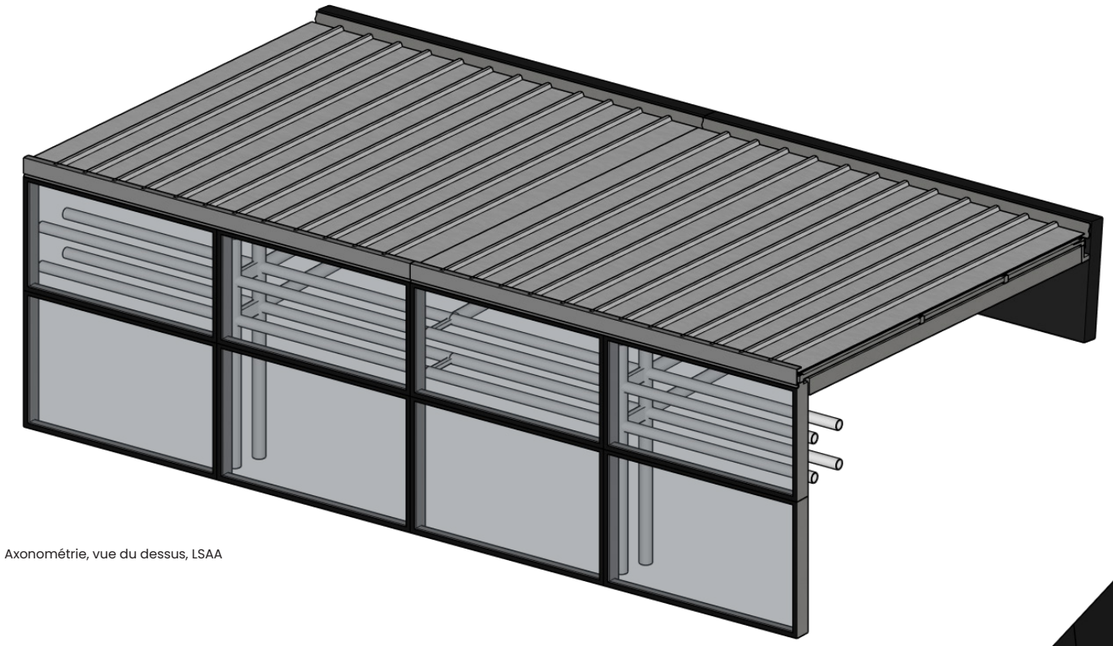
Axonométrie écorchée, LSAA

1. Couverture bac acier 45 mm avec chatière pour ventilation naturelle
2. Profilés en Z pour fixation du bac acier
3. Verrière existante
4. Film opaque

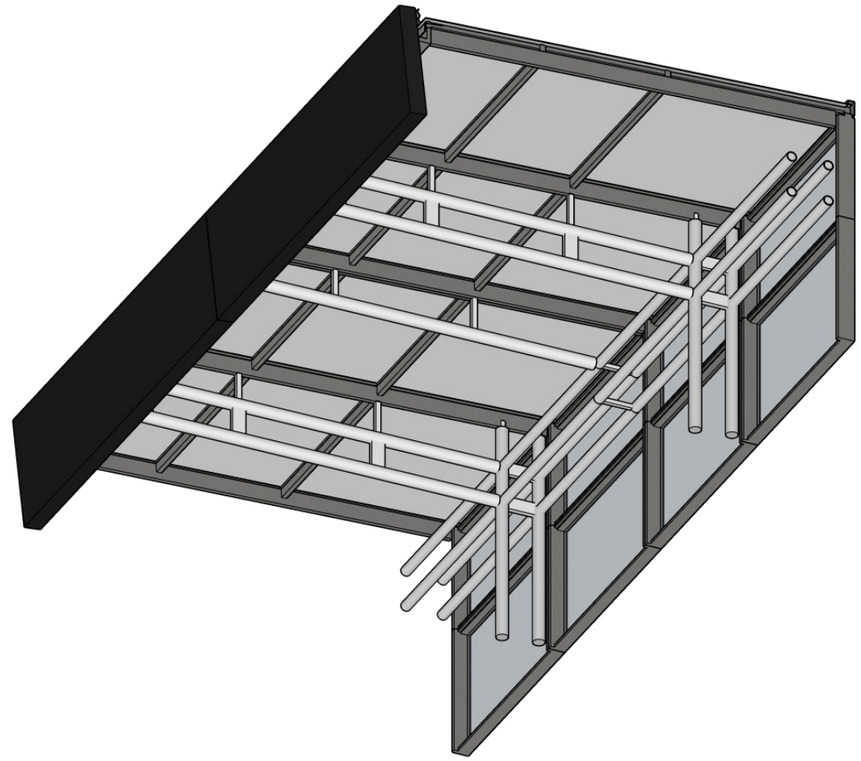
VARIANTE 1 : VERRIÈRE AVEC FILM OPAQUE ET COUVERTURE EN TÔLE NERVURÉE

Un film opacifiant appliqué sous le vitrage permet d'avoir une sous face uniforme entre les meneaux et traverses de la verrière.

Il faut que le film opacifiant soit classé M1 pour répondre aux exigences de la réglementation incendie.



Axonométrie, vue du dessus, LSAA



Axonométrie, vue du dessous, LSAA

VARIANTE 1 : VERRIÈRE AVEC FILM OPAQUE ET COUVERTURE EN TÔLE NERVURÉE

Descriptif sommaire des travaux envisagés

Lot échafaudage

- Echafaudage périphérique à +1 m de l'acrotère

Lot démolition/curage

- Dépose gaine VMC en toiture
- Dépose du système d'éclairage des édicules

Lot charpente métallique

- Mise en oeuvre d'une panne de rive

Lot verrière

Modification de la verrière de l'atrium

- Nettoyage de la verrière avec retrait du film solaire existant
- Pose d'un film opacifiant sous le vitrage
- Nacelle avec bras téléscopique
- Fermeture bouche VMC en intérieur

Remplacement de la verrière de l'amphithéâtre

- Dépose de la verrière existante
- Panneautage provisoire
- Fourniture et pose d'une costière périphérique
- Fourniture et pose d'une verrière pente 5°
- Calfeutrement en acrotères
- Ajout de stores déroulants motorisés
- Couvertine périphérique en tête de relevé d'étanchéité

Modification de la verrière entre les deux édicules

- Nettoyage de la verrière existante avec retrait du film solaire existant
- Pose d'un film opacifiant sous le vitrage
- Dépose et repose de bardage
- Reprise du relevé d'étanchéité périphérique
- Remplacement de la porte d'accès à la toiture

Lot couverture

- Entretien des chéneaux, débouchage des naissances et vérification des relevés
- Ajout d'ossature métallique pour fixation bac acier
- Couverture bac acier nervuré
- Closoir et membrane d'étanchéité
- Profilé de rive au droit de la verrière
- Réhausse des acrotères en périphérie
- Ligne de vie
- Percement pour passage de gaine CTA et étanchéité

Lot électricité

- Repose des luminaires
- Alimentation et raccordement stores déroulants motorisés
- Alimentation et raccordement CTA

Lot chauffage / ventilation

- Solution 1 : Mise en oeuvre d'une CTA avec gaine à très haute induction
- Solution 2 : Mise en oeuvre d'une CTA avec diffuseur longue portée

VARIANTE 1 : VERRIÈRE AVEC FILM OPAQUE ET COUVERTURE EN TÔLE NERVURÉE

Estimatif financier prévisionnel

ESTIMATION DES TRAVAUX	ESTIMATION BASSE	ESTIMATION HAUTE
VARIANTE 1 : VERRIÈRE AVEC FILM OPAQUE ET COUVERTURE EN TÔLE NERVURÉE		
LOT 01 - ÉCHAFAUDAGE	**16 500,00 €**	**18 975,00 €**
LOT 02 - DÉMOLITION / CURAGE	**3 000,00 €**	**3 450,00 €**
LOT 03 - CHARPENTE MÉTALLIQUE	**11 480,00 €**	**13 202,00 €**
LOT 04 - VERRIÈRE - MODIFICATION DE LA VERRIÈRE DE L'ATRIUM	**40 880,00 €**	**47 012,00 €**
LOT 04 - VERRIÈRE - REMPLACEMENT DE LA VERRIÈRE DE L'AMPHITHÉÂTRE	**39 200,00 €**	**45 080,00 €**
LOT 04 - MODIFICATION DE LA VERRIÈRE ENTRE LES DEUX ÉDICULES	**9 420,00 €**	**10 833,00 €**
LOT 05 - COUVERTURE	**37 000,00 €**	**42 550,00 €**
LOT 06 - ÉLECTRICITÉ	**5 000,00 €**	**5 750,00 €**
LOT 07 - CHAUFFAGE / VENTILATION		
Solution 1 CTA et gaine à induction	**85 000,00 €**	**105 000,00 €**
Solution 2 CTA et diffuseur longues portées	**95 000,00 €**	**115 000,00 €**
TOTAL TRAVAUX HT SOLUTION 1 CTA ET GAINE À INDUCTION	**247 480,00 €**	**291 852,00 €**
TOTAL TRAVAUX HT SOLUTION 2 CTA ET DIFFUSEUR LONGUES PORTÉES	**257 480,00 €**	**301 852,00 €**

VARIANTE 2 : REMPLACEMENT DE LA VERRIÈRE PAR DES CAISSONS BOIS CHEVRONNÉS

Préconisation

Cette variante propose la dépose de la verrière existante (ossature secondaire et vitrage) et son remplacement par des caissons bois isolés et chevronnés. Une couverture zinc à joints debout est ajoutée au-dessus des caissons. Deux appuis doivent être ajoutés dans cette configuration, pour porter le nouveau complexe.

Cette solution assure l'étanchéité du bâtiment et permet d'améliorer ses performances thermiques. La STD indique 77 heures d'inconfort d'été, soit une diminution de 60% par rapport à l'état existant. C'est la solution la plus pertinente et la plus adaptée aux besoins.

Cette solution a également été étudiée avec l'application complémentaire d'un film solaire sur le mur rideau. Dans ce cas, les heures d'inconfort d'été sont nulles. L'ajout d'un film solare apparait pertinent pour réduire l'inconfort thermique sans engager de travaux lourds en façade. Il permet également de réduire les déperditions thermiques.

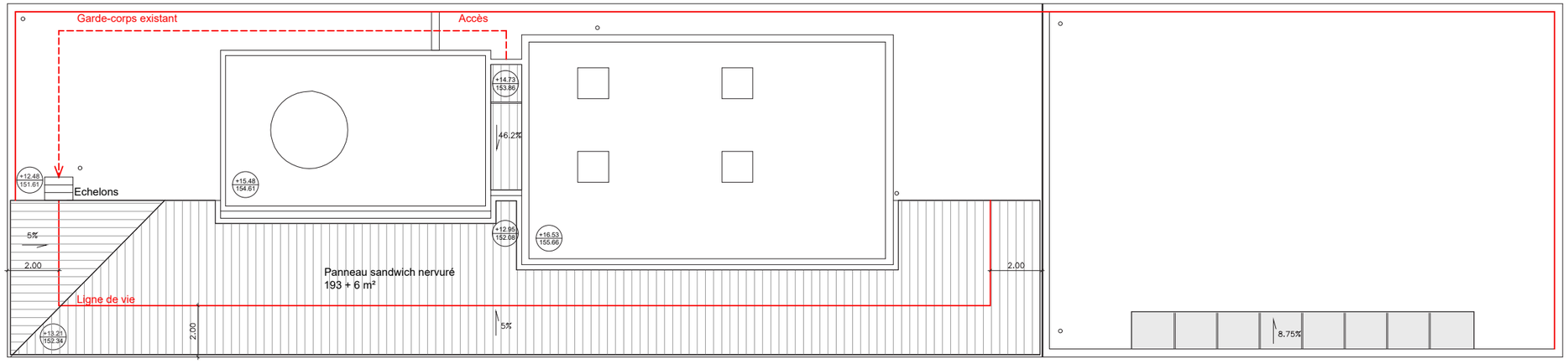
La combinaison des deux solutions présente la meilleure performance thermique. L'ajout d'un film solaire est proposé en option.

La variante 2 prévoit :

- la dépose de la verrière de l'atrium et de la verrière située entre les deux édicules,
- leur remplacement par des caissons bois chevronnés pentés à 5%,
- leur couverture par du zinc à joints debout,
- le remplacement de la verrière de l'amphithéâtre ,
- l'ajout de stores motorisés sur la verrière de l'amphithéâtre,
- l'ajout d'une ligne de vie sur la verrière de l'atrium,
- l'ajout d'un film solaire sur le mur rideau en option.

Solution	T de confort max	Occupation	Renouv. Air	Ecl	FS mur rideau	R toiture	FS verriere	Inconfort
Base	28°C	15 pers	0,1 Vol/h	8 W/m²	0,55	-	0,3	188 h
S1	28°C	15 pers	0,1 Vol/h	8 W/m²	0,55	-	0,1	117 h
S2	28°C	15 pers	0,1 Vol/h	8 W/m²	0,55	5,25 m2.K/W	0	77 h
S3	28°C	15 pers	0,1 Vol/h	8 W/m²	0,55	4,51 m2.K/W	0	85 h
S4 (1 vol/h)	28°C	15 pers	1 vol/h	8 W/m²	0,55	-	0,1	66 h
S4 bis (2 vol/h)	28°C	15 pers	2 vol/h	8 W/m²	0,55	-	0,1	48 h
S5	28°C	15 pers	0,1 vol/h	8 W/m²	0,3	-	0,3	90 h
S6	28°C	15 pers	0,1 vol/h	8 W/m²	0,3	5,25 m2.K/W	0	00 h

Résultats des simulations thermiques, SYNRGETICS



Principe de toiture, variante 2, 1/200, LSAA

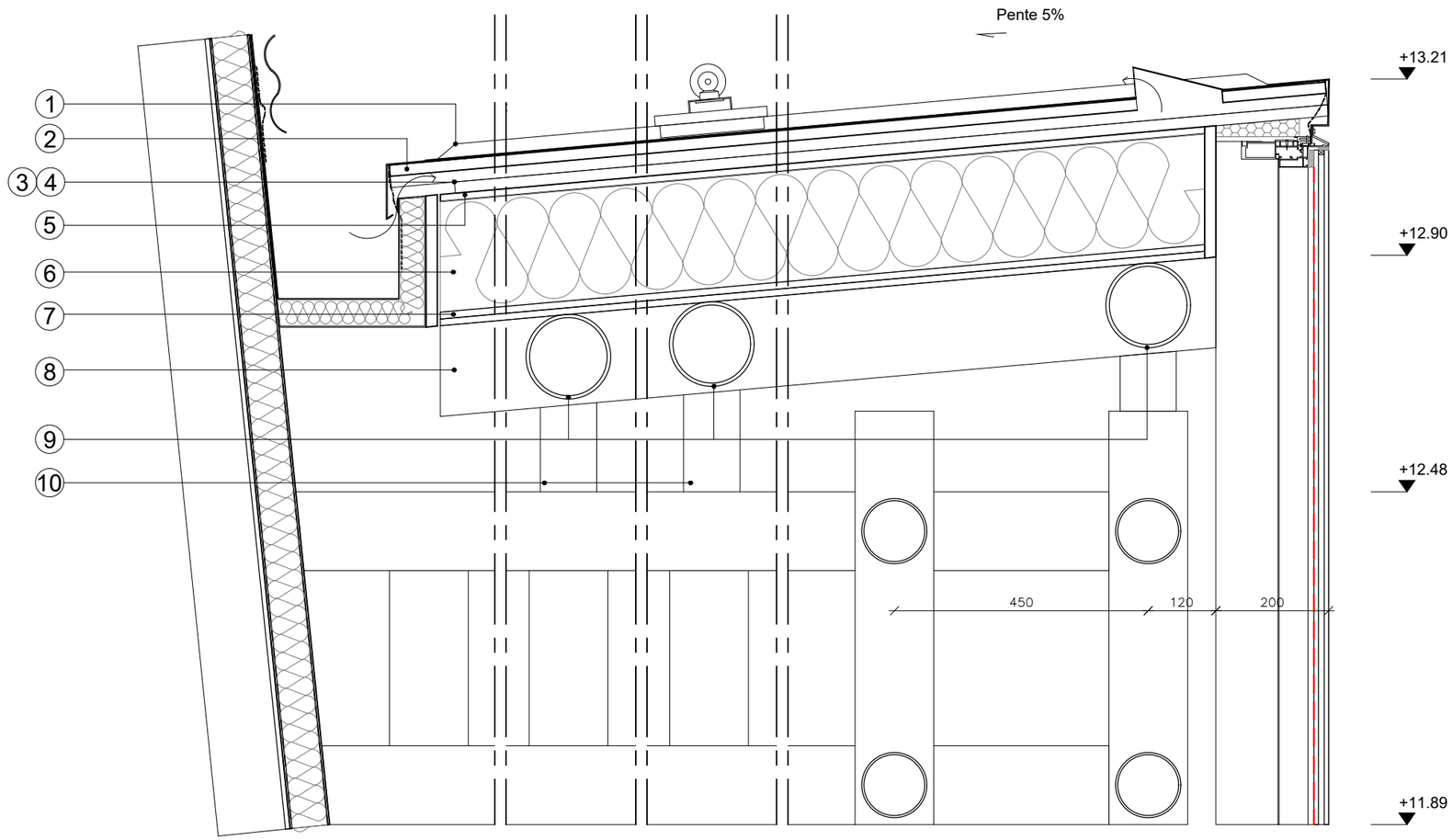
VARIANTE 2 : REMPLACEMENT DE LA VERRIÈRE PAR DES CAISSONS BOIS CHEVRONNÉS

Caractéristiques :
- Epaisseur totale du complexe : 325 mm
- Portée : 4,7 m sur 3 appuis (pour une charge de 150 kg/m²)
- Résistance thermique : R = 5,25 m².K/W, **conforme RT Existant**
- Poids propre : 34,4 kg/m² + 16 kg/m² pour couverture zinc avec voligeage, **respect de la réserve de charge, vérifiée par SECBTP**
- Finition intérieure : Panneau de particules de bois scarfé hydrofuge 12 mm d'épaisseur classé B-s2, d0 et laqué blanc + panneau de particules de bois hydrofuge 12 mm d'épaisseur, **conforme à la réglementation incendie**

Avantages :
- Ajout d'une isolation complémentaire pour respect de la RT Existant
- Redimensionnement du chéneau d'après le DTU 60.11
- Résolution des problèmes d'étanchéité
- Augmentation de la pente de toiture à 5%
- Bonne résistance thermique
- Matériau à fort déphasage thermique

Inconvénients :
- Réhausse de 6 cm de la rive
- Temps de chantier important
- Maintien hors d'eau à réaliser pendant le chantier
- Coût élevé

① Couverture zinc 25 mm avec chatière pour ventilation naturelle
② Voligeage 20 mm
③ Réhausse 20 mm (lame d'air)
④ Contrelattage 20 mm (lame d'air)
⑤ Panneau de particules hygrofuge 20 mm
⑥ Isolation 196 mm
⑦ Finition panneaux de particules hydrofuge 12 + 12 mm
⑧ Poutre tube rectangulaire 100/160/5 e = 5,00 m
⑨ Pannes tube cylindrique 150/6
⑩ Potelets tube rectangulaire 100/100/4



Coupe verticale sur verrière, variante 2, 1/10, LSAA

VARIANTE 2 : REMPLACEMENT DE LA VERRIÈRE PAR DES CAISSONS BOIS CHEVRONNÉS

Le caisson préconisé est le modèle Roof DS Mineral Wool de Unilin Insulation.

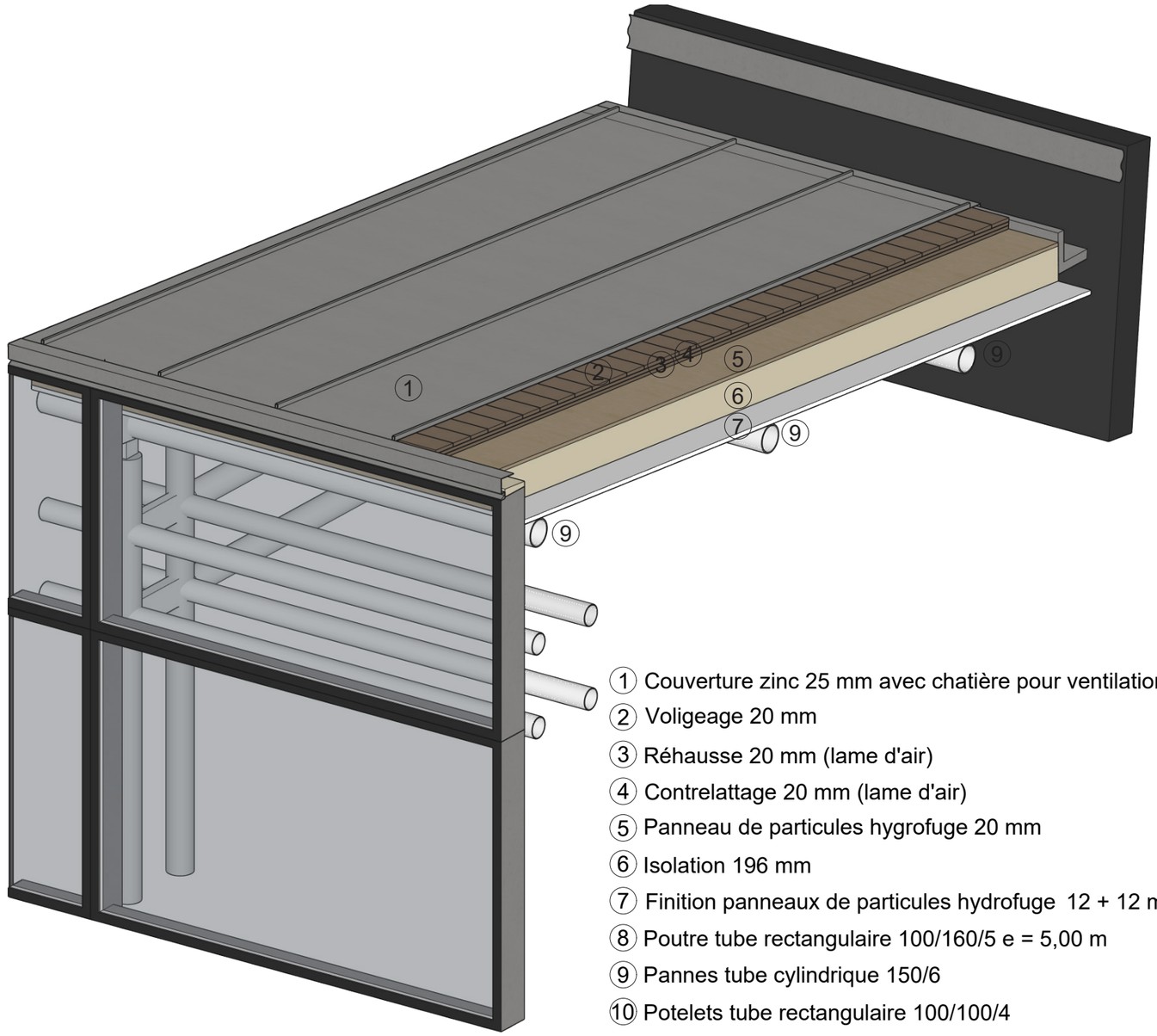
C'est un système isolant support de couverture sur lame d'air ventilée. Il est constitué d'une âme isolante en laine de roche, de trois chevrons en bois massif solidaires d'un panneau de sous-face faisant office de parement plafond et d'un parement de couverture en panneau de particules comportant, trois contrelattes agrafées, destinées à la fixation des bois supports de couverture.

La sous-face des caisson est classée B-s2, d0 et répond aux exigences de la réglementation incendie.

La fiche technique du produit est annexée au présent rapport.



Caisson chevronné, Unilin Insulation

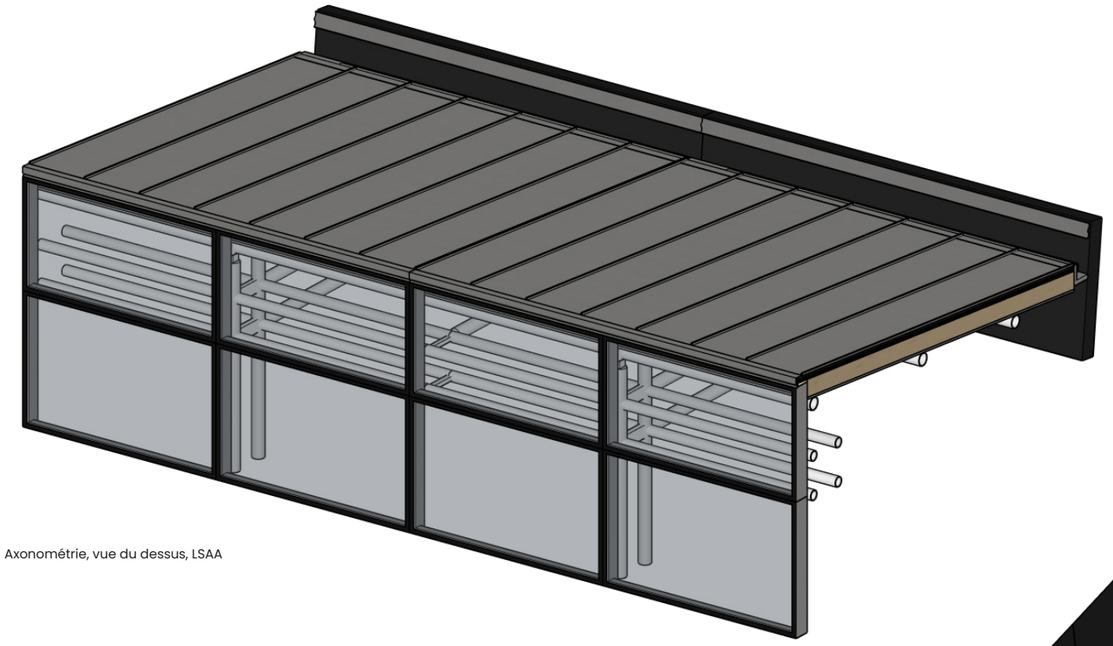


Axonométrie écorchée, LSAA

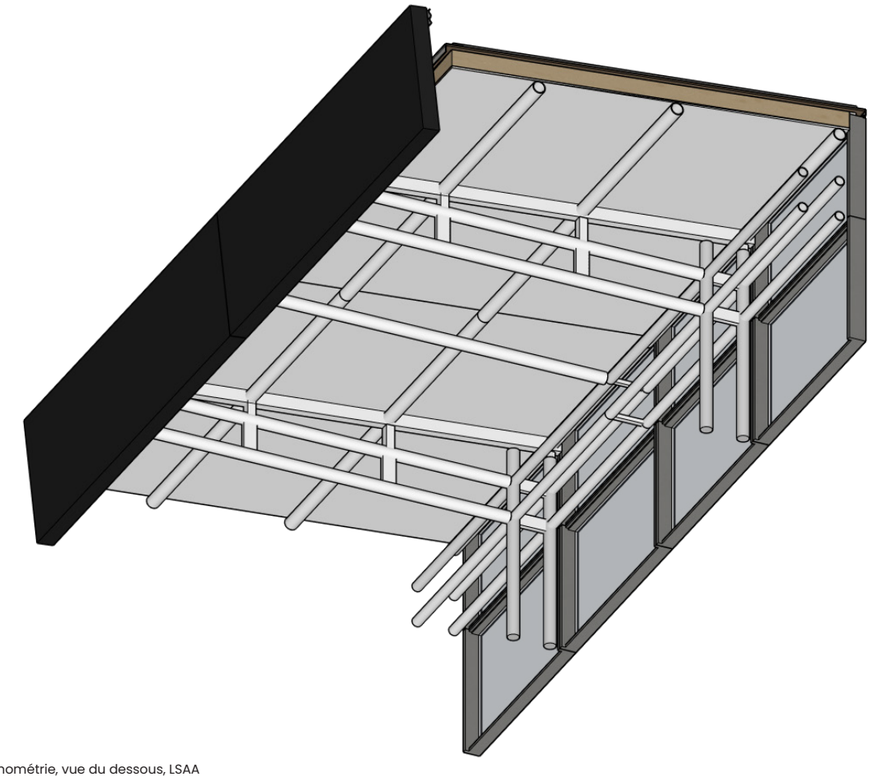
1. Couverture zinc 25 mm avec chatière pour ventilation naturelle
2. Voligeage 20 mm
3. Réhausse 20 mm (lame d'air)
4. Contrelattage 20 mm (lame d'air)
5. Panneau de particules hygrofuge 20 mm
6. Isolation 196 mm
7. Finition panneaux de particules hydrofuge 12 + 12 mm
8. Poutre tube rectangulaire 100/160/5 e = 5,00 m
9. Pannes tube cylindrique 150/6
10. Potelets tube rectangulaire 100/100/4

VARIANTE 2 : REMPLACEMENT DE LA VERRIÈRE PAR DES CAISSONS BOIS CHEVRONNÉS

Une ossature secondaire est ajoutée pour porter les caissons. Elle est contituée de poutres et de pannes. Les pannes sont des simples tubes creux cylindriques qui reprennent le langage de l'ossature principale existante. La structure ainsi que la sous-face des caissons sont de teinte blanche.



Axonométrie, vue du dessus, LSAA



Axonométrie, vue du dessous, LSAA

VARIANTE 2 : REMPLACEMENT DE LA VERRIÈRE PAR DES CAISSONS BOIS CHEVRONNÉS

Descriptif sommaire des travaux envisagés

Lot échafaudage

- Echafaudage périphérique à +1 m de l'acrotère avec chapiteau
- Filets pour entre les charpentes pour protection collective

Lot démolition/curage

- Dépose gaine VMC en toiture
- Dépose du système d'éclairage des édicules
- Dépose de la verrière de l'atrium et de la verrière située entre les deux édicules
- Dépose du chéneau existant
- Dépose de l'ossature secondaire

Lot charpente métallique

- Sciage des têtes de poteau
- Mise en oeuvre de poutres pour ossature secondaire
- Fixation des poutres aux poteaux existants
- Mise en oeuvre de pannes pour ossature secondaire
- Mise en oeuvre de tubes entre l'ossature principale et l'ossature secondaire

Lot charpente bois

- Mise en oeuvre des caissons bois chevronnés avec contrelattage sur l'atrium et entre les deux édicules de toiture
- Ajout d'un isolant en rive de l'atrium

Lot verrière

Remplacement de la verrière de l'amphithéâtre

- Dépose de la verrière existante
- Panneautage provisoire
- Fourniture et pose d'une costière périphérique
- Fourniture et pose d'une verrière pente 5°Fourniture et pose d'une costière périphérique
- Fourniture et pose d'une verrière pente 5°
- Calfeutrement en acrotères
- Ajout de stores déroulants motorisés
- Couvertine périphérique en tête de relevé d'étanchéité

Modification de la verrière entre les deux édicules

- Remplacement de la porte d'accès à la toiture

Option : Modification du mur rideau

- Ajout d'un film solaire sur le mur rideau

Lot couverture

- Réhausses pour la lame d'air
- Voligeage
- Couverture zinc joints debout avec chatières
- Closoir et membrane d'étanchéité
- Profilé de rive au droit de la verrière
- Réhausse des acrotères en périphérie
- Création d'un nouveau chéneau
- Ligne de vie
- Percement pour passage de gaine CTA et étanchéité

Lot électricité

- Repose des luminaires
- Alimentation et raccordement stores déroulants motorisés
- Alimentation et raccordement CTA

Lot chauffage / ventilation

- Solution 1 : Mise en oeuvre d'une CTA avec gaine à très haute induction
- Solution 2 : Mise en oeuvre d'une CTA avec diffuseur longue portée

VARIANTE 2 : REMPLACEMENT DE LA VERRIÈRE PAR DES CAISSONS BOIS CHEVRONNÉS

Estimatif financier prévisionnel

ESTIMATION DES TRAVAUX	ESTIMATION BASSE	ESTIMATION HAUTE
VARIANTE 2 : REMPLACEMENT DE LA VERRIÈRE PAR DES CAISSONS BOIS CHEVRONNÉS		
LOT 01 - ÉCHAFAUDAGE	**27 658,00 €**	**31 806,70 €**
LOT 02 - DÉMOLITION / CURAGE	**31 140,00 €**	**35 811,00 €**
LOT 03 - CHARPENTE MÉTALLIQUE	**78 100,00 €**	**89 815,00 €**
LOT 04 - CHARPENTE BOIS	**45 345,00 €**	**52 146,75 €**
LOT 04 - VERRIÈRE - REMPLACEMENT DE LA VERRIÈRE DE L'AMPHITHÉÂTRE	**63 200,00 €**	**72 680,00 €**
LOT 04 - MODIFICATION DE LA VERRIÈRE ENTRE LES DEUX ÉDICULES	**3 500,00 €**	**4 025,00 €**
LOT 04 - OPTION : MODIFICATION DU MUR RIDEAU	**61 500,00 €**	**70 725,00 €**
LOT 05 - COUVERTURE	**59 045,00 €**	**67 901,75 €**
LOT 06 - ÉLECTRICITÉ	**5 000,00 €**	**5 750,00 €**
LOT 07 - CHAUFFAGE / VENTILATION		
Solution 1 CTA et gaine à induction	**85 000,00 €**	**105 000,00 €**
Solution 2 CTA et diffuseur longues portées	**95 000,00 €**	**115 000,00 €**
TOTAL TRAVAUX HT SANS OPTION SOLUTION 1 CTA ET GAINE À INDUCTION	**397 988,00 €**	**464 936,20 €**
TOTAL TRAVAUX HT SANS OPTION SOLUTION 2 CTA ET DIFFUSEUR LONGUES PORTÉES	**407 988,00 €**	**474 936,20 €**
TOTAL TRAVAUX HT AVEC OPTION SOLUTION 1 CTA ET GAINE À INDUCTION	**459 488,00 €**	**535 661,20 €**
TOTAL TRAVAUX HT AVEC OPTION SOLUTION 2 CTA ET DIFFUSEUR LONGUES PORTÉES	**469 488,00 €**	**545 661,20 €**

VARIANTE 3 : REMPLACEMENT DE LA VERRIÈRE PAR DES PANNEAUX SANDWICHS

Préconisation

Cette variante propose la dépose de la verrière existante (ossature secondaire et vitrage) et son remplacement par des panneaux sandwichs.
Un appuis est ajouté à proximité du chéneau.

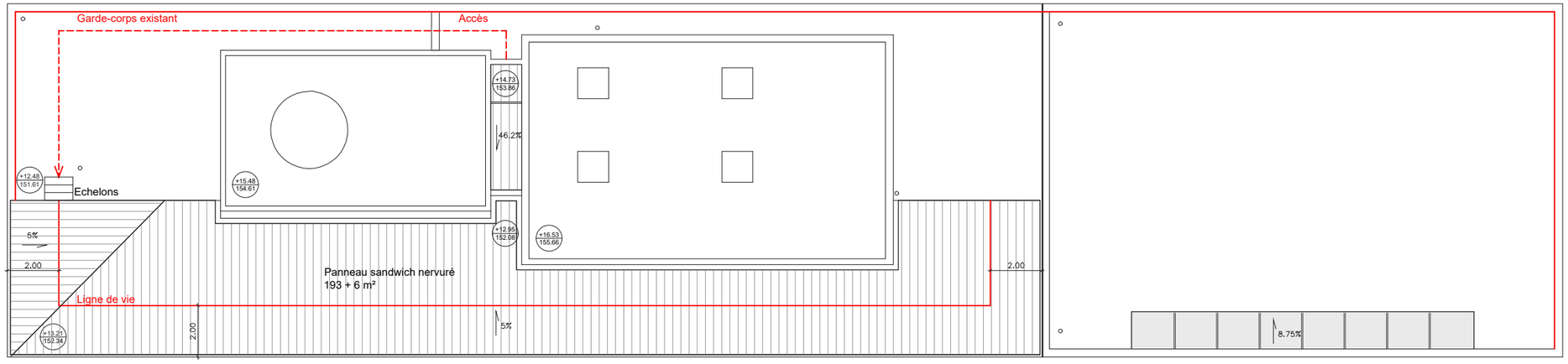
Cette solution permet d'assurer l'étanchéité du bâtiment et d'améliorer ses performances thermiques. La STD indique 85 heures d'inconfort d'été, soit une diminution de 55% par rapport à l'état existant.

Elle prévoit :

- la dépose de la verrière de l'atrium et de la verrière située entre les deux édicules,
- leur remplacement par des panneaux sandwichs pentés à 5%,
- le remplacement de la verrière de l'amphithéâtre ,
- l'ajout de stores motorisés sur la verrière de l'amphithéâtre,
- l'ajout d'une ligne de vie sur la verrière de l'atrium.

Solution	T de confort max	Occupation	Renouv. Air	Ecl	FS mur rideau	R toiture	FS verriere	Inconfort
Base	28°C	15 pers	0,1 Vol/h	8 W/m²	0,55	-	0,3	188 h
S1	28°C	15 pers	0,1 Vol/h	8 W/m²	0,55	-	0,1	117 h
S2	28°C	15 pers	0,1 Vol/h	8 W/m²	0,55	5,25 m2.K/W	0	77 h
S3	28°C	15 pers	0,1 Vol/h	8 W/m²	0,55	4,51 m2.K/W	0	85 h
S4 (1 vol/h)	28°C	15 pers	1 vol/h	8 W/m²	0,55	-	0,1	66 h
S4 bis (2 vol/h)	28°C	15 pers	2 vol/h	8 W/m²	0,55	-	0,1	48 h
S5	28°C	15 pers	0,1 vol/h	8 W/m²	0,3	-	0,3	90 h
S6	28°C	15 pers	0,1 vol/h	8 W/m²	0,3	5,25 m2.K/W	0	00 h

Résultats des simulations thermiques, SYNRGETICS



Principe de toiture, variante 3, 1/200, LSAA

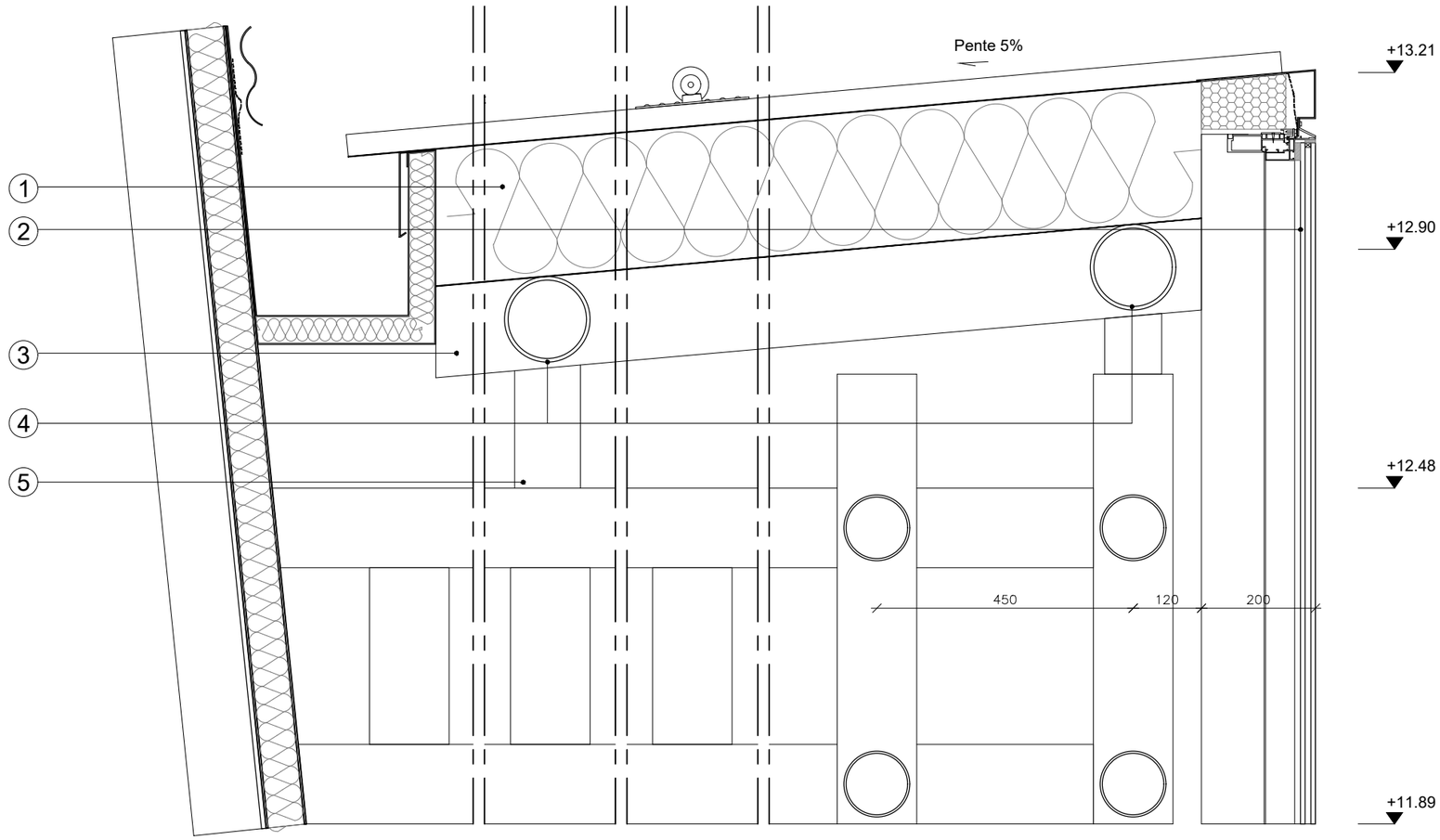
VARIANTE 3 : REMPLACEMENT DE LA VERRIÈRE PAR DES PANNEAUX SANDWICHS

Caractéristiques :
- Epaisseur totale du complexe : 240 mm (dont 39 mm de hauteur de nervures)
- Portée maximale : 4,59 m sur 2 appuis (pour une charge de 150 kg/m²)
- Résistance thermique : R = 4,51 m².K/W, **conforme RT Existant**
- Poids propre : 29,93 kg/m², **respect de la réserve de charge**
- Finition intérieure : Parement intérieur lisse du panneau sandwich, classé A2-s1,d0, **conforme réglementation incendie**

Avantages :
- Ajout d'une isolation complémentaire pour respect de la RT Existant
- Redimensionnement du chéneau d'après le DTU 60.11
- Résolution des problèmes d'étanchéité
- Augmentation de la pente de toiture à 5%
- Maintien de la hauteur de rive
- Bonne résistance thermique

Inconvénients :
- Temps de chantier important
- Maintien hors d'eau à réaliser pendant le chantier
- Coût élevé

① Panneau sandwich nervuré (39 de nervures + 240 mm d'isolant)
② Film solaire mur rideau
③ Poutre tube rectangulaire 100/160/5 e = 5,00 m
④ Pannes tube cylindrique 150/6
⑤ Potelet tube rectangulaire 100/100/4



Coupe verticale sur verrière, variante 3, 1/10, LSAA

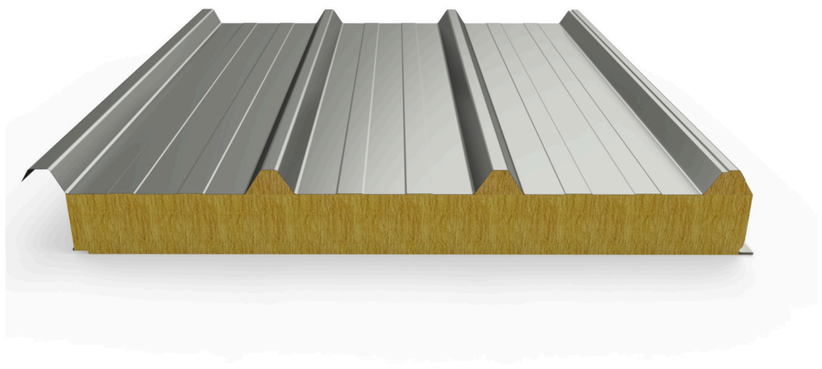
VARIANTE 3 : REMPLACEMENT DE LA VERRIÈRE PAR DES PANNEAUX SANDWICHS

Le panneau sandwichs préconisé est le modèle Ondarock de ArcelorMittal.

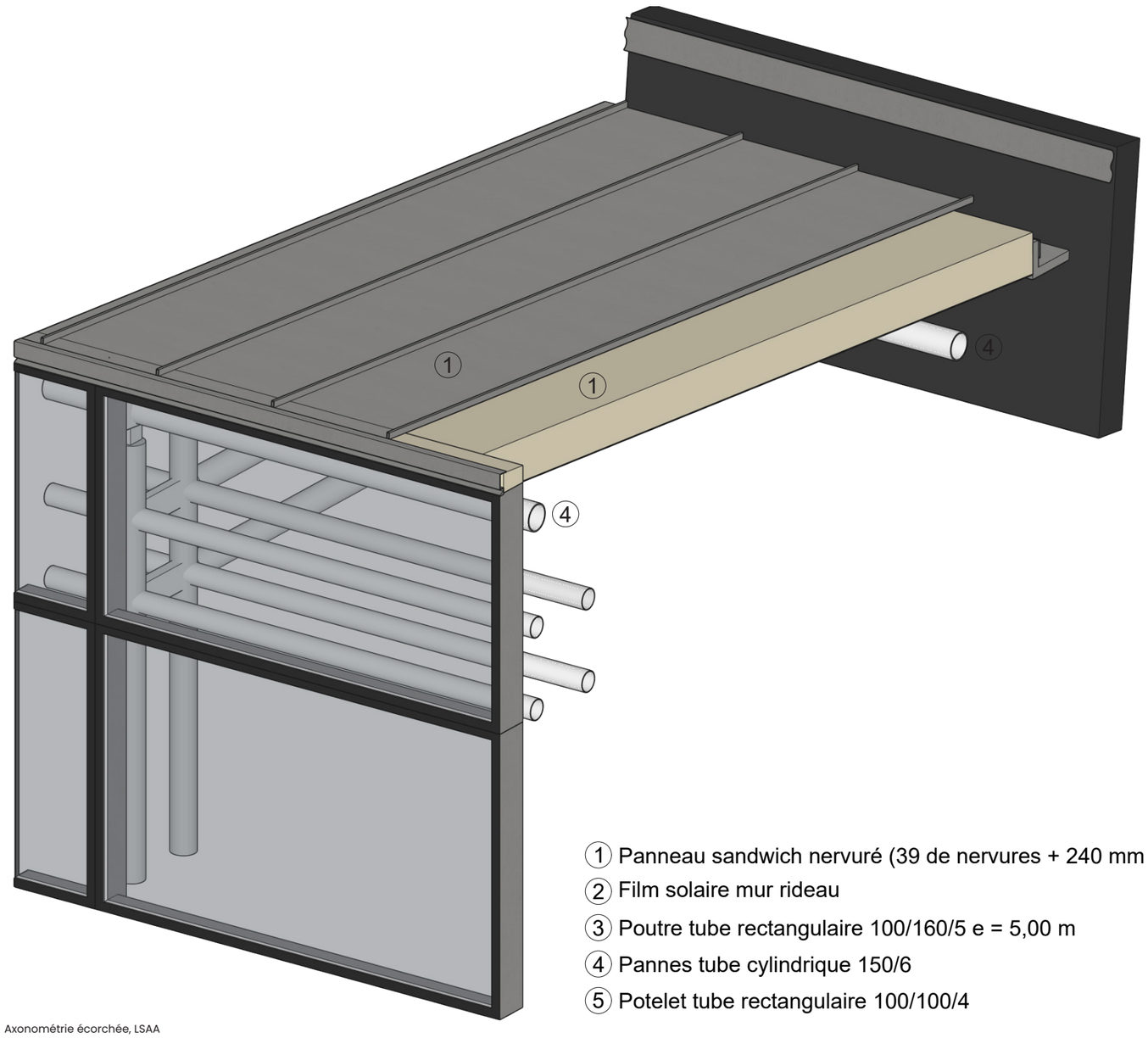
Il est constitué d'un isolant en laine de roche et de parements en tôle d'acier galvanisée. Son parement extérieur est trapézoïdal et son parement intérieur lisse.

La sous-face des caisson est classée A2-s1,d0 et répond aux exigences de la réglementation incendie.

La fiche technique du produit ainsi que son DTA sont annexés au présent rapport.



Panneau sandwich Ondarock, ArcelorMittal

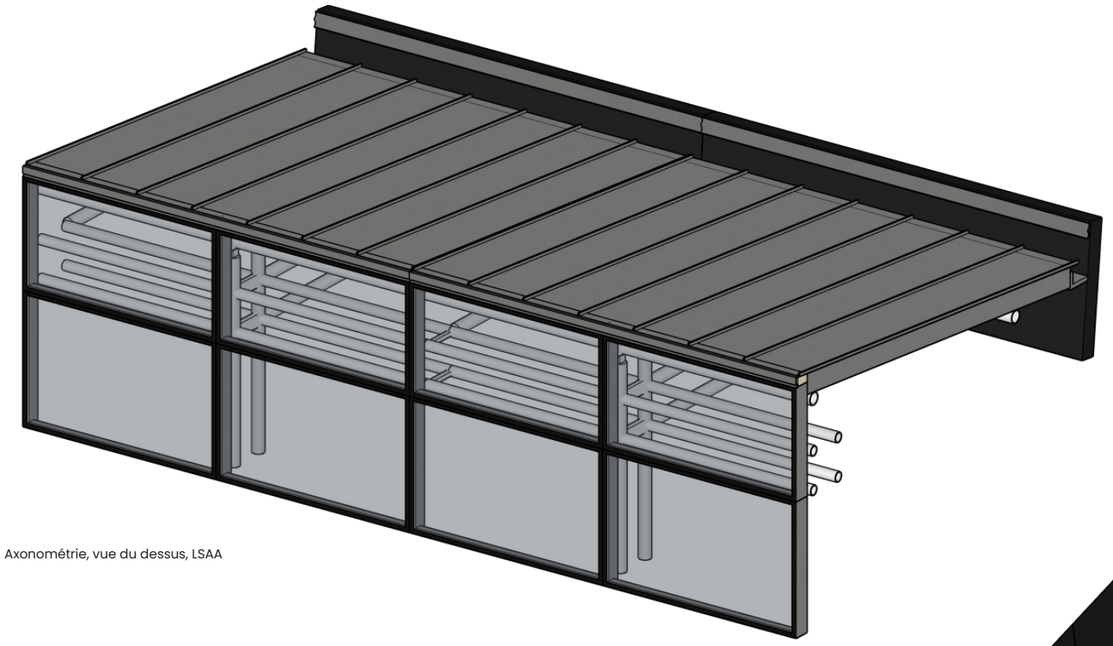


Axonométrie écorchée, LSAA

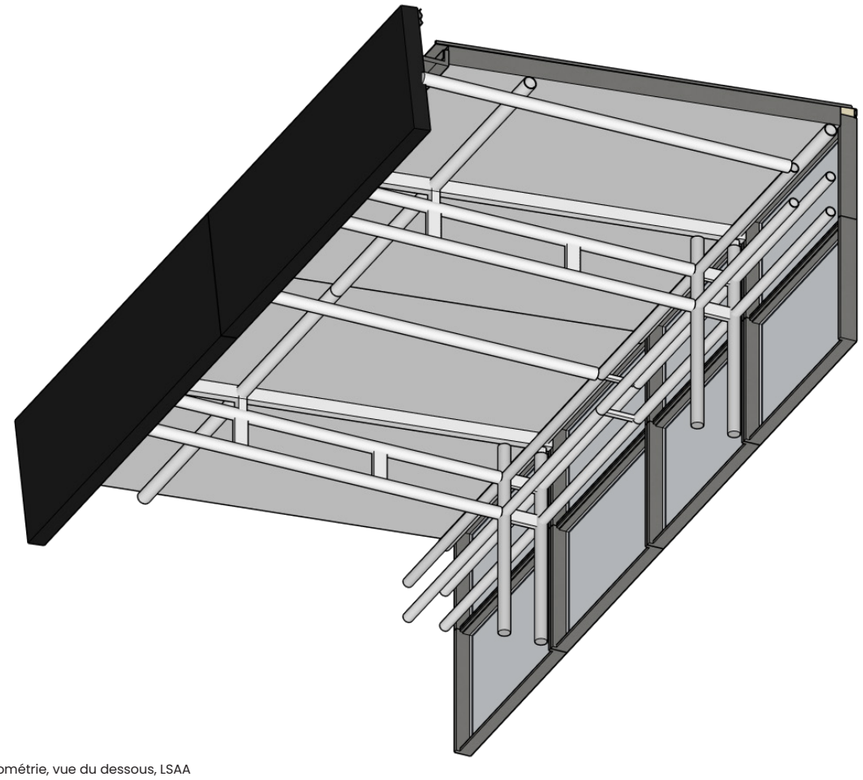
1. Panneau sandwich nervuré (39 de nervures + 240 mm d'isolant)
2. Film solaire mur rideau
3. Poutre tube rectangulaire 100/160/5 e = 5,00 m
4. Pannes tube cylindrique 150/6
5. Potelet tube rectangulaire 100/100/4

VARIANTE 3 : REMPLACEMENT DE LA VERRIÈRE PAR DES PANNEAUX SANDWICHS

Une ossature secondaire est ajoutée pour porter les panneaux sandwich. Elle est contituée de poutres et de pannes. Les pannes sont des simples tubes creux cylindriques qui reprennent le langage de l'ossature principale existante. La structure ainsi que la sous-face des panneaux sont de teinte blanche.



Axonométrie, vue du dessus, LSAA



Axonométrie, vue du dessous, LSAA

VARIANTE 3 : REMPLACEMENT DE LA VERRIÈRE PAR DES PANNEAUX SANDWICHS

Descriptif sommaire des travaux envisagés

Lot échafaudage

- Echafaudage périphérique à +1 m de l'acrotère avec chapiteau
- Filets pour entre les charpentes pour protection collective

Lot démolition/curage

- Dépose gaine VMC en toiture
- Dépose du système d'éclairage des édicules
- Dépose de la verrière de l'atrium et de la verrière située entre les deux édicules de toiture
- Dépose du chéneau existant
- Dépose de l'ossature secondaire

Lot charpente métallique

- Sciage des têtes de poteau
- Mise en oeuvre de poutres pour ossature secondaire
- Fixation des poutres aux poteaux existants
- Mise en oeuvre de pannes pour ossature secondaire
- Mise en oeuvre de tubes entre l'ossature principale et l'ossature secondaire

Lot verrière

Remplacement de la verrière de l'amphithéâtre

- Dépose de la verrière existante
- Fourniture et pose d'une costière périphérique et d'une verrière pente 5°
- Calfeutrement en acrotères
- Ajout de stores déroulants motorisés
- Couvertine périphérique en tête de relevé d'étanchéité

Modification de la verrière entre les deux édicules

- Remplacement de la porte d'accès à la toiture

Lot couverture

- Mise en oeuvre de panneaux sandwichs sur l'atrium et entre les deux édicules de toiture
- Ajout d'un isolant en rive
- Closoir et membrane d'étanchéité
- Profilé de rive au droit de la verrière
- Réhausse des acrotères en périphérie
- Création d'un nouveau chéneau
- Ligne de vie
- Percement pour passage de gaine CTA et étanchéité

Lot électricité

- Repose des luminaires
- Alimentation et raccordement stores déroulants motorisés
- Alimentation et raccordement CTA

Lot chauffage / ventilation

- Solution 1 : Mise en oeuvre d'une CTA avec gaine à très haute induction
- Solution 2 : Mise en oeuvre d'une CTA avec diffuseur longue portée

VARIANTE 3 : REMPLACEMENT DE LA VERRIÈRE PAR DES PANNEAUX SANDWICHS

Estimatif financier prévisionnel

ESTIMATION DES TRAVAUX		ESTIMATION BASSE	ESTIMATION HAUTE
VARIANTE 3 : REMPLACEMENT DE LA VERRIÈRE PAR DES PANNEAUX SANDWICHS			
LOT 01 - ÉCHAFAUDAGE		**27 658,00 €**	**31 806,70 €**
LOT 02 - DÉMOLITION / CURAGE		**31 140,00 €**	**35 811,00 €**
LOT 03 - CHARPENTE MÉTALLIQUE		**56 100,00 €**	**64 515,00 €**
LOT 04 - VERRIÈRE - REMPLACEMENT DE LA VERRIÈRE DE L'AMPHITHÉÂTRE		**63 200,00 €**	**72 680,00 €**
LOT 04 - MODIFICATION DE LA VERRIÈRE ENTRE LES DEUX ÉDICULES		**3 500,00 €**	**4 025,00 €**
LOT 05 - COUVERTURE		**52 165,00 €**	**59 989,75 €**
LOT 06 - ÉLECTRICITÉ		**5 000,00 €**	**5 750,00 €**
LOT 07 - CHAUFFAGE / VENTILATION			
Solution 1	CTA et gaine à induction	**85 000,00 €**	**105 000,00 €**
Solution 2	CTA et diffuseur longues portées	**95 000,00 €**	**115 000,00 €**
TOTAL TRAVAUX HT SANS OPTION SOLUTION 1 CTA ET GAINE À INDUCTION		**323 763,00 €**	**379 577,45 €**
TOTAL TRAVAUX HT SANS OPTION SOLUTION 2 CTA ET DIFFUSEUR LONGUES PORTÉES		**333 763,00 €**	**389 577,45 €**

4. LISTE DES ANNEXES

LISTE DES ANNEXES

- 01 : Etudes thermiques de la verrière de l'Atrium, SYNRGETICS
- 02 : Note de calcul pour le projet de rempalcement de la verrière, SECBTP
- 03 : L'avis technique N°2/96-465 de 1996 du mur rideau à vitrage extérieur collé
- 04 : Fiche technique des châssis de désenfumage S9-iVt-05 de Hahn Lamellen
- 05 : Fiche technique du bac acier Trapeza de ArcelorMittal
- 06 : Fiche technique du caisson chevronné Roof DS Mineral Wool de Unilin Insulation
- 07 : Fiche technique du panneau sandwich Ondarock de ArcelorMittal
- 08 : DTA du panneau sandwich Ondarock de ArcelorMittal

L A N G

S A I N T - A N D R É

ARCHITECTES

Maxime L A N G
Architecte associé

m.lang@lsa-architectes.fr

Bastien S A I N T - A N D R É
Architecte associé

b.saint-andre@lsa-architectes.fr