

SESSION 2021

**AGREGATION  
CONCOURS INTERNE  
ET CAER**

**Section : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR**

**Option : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR  
ET INGÉNIERIE DES CONSTRUCTIONS**

**ÉTUDE D'UN SYSTÈME, D'UN PROCÉDÉ OU D'UNE  
ORGANISATION**

Durée : 4 heures

*Calculatrice électronique de poche - y compris calculatrice programmable, alphanumérique ou à écran graphique – à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99-186 du 16 novembre 1999.*

*L'usage de tout autre ouvrage de référence, de tout dictionnaire et de tout autre matériel électronique est rigoureusement interdit.*

*Si vous repérez ce qui vous semble être une erreur d'énoncé, vous devez le signaler très lisiblement sur votre copie, en proposer la correction et poursuivre l'épreuve en conséquence. De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, vous devez la (ou les) mentionner explicitement.*

**NB : Conformément au principe d'anonymat, votre copie ne doit comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc. Si le travail qui vous est demandé consiste notamment en la rédaction d'un projet ou d'une note, vous devrez impérativement vous abstenir de la signer ou de l'identifier.**

**Tournez la page S.V.P.**

A

## INFORMATION AUX CANDIDATS

Vous trouverez ci-après les codes nécessaires vous permettant de compléter les rubriques figurant en en-tête de votre copie.

Ces codes doivent être reportés sur chacune des copies que vous remettrez.

► **Concours interne de l'Agrégation de l'enseignement public :**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EAI	1416A	102	7048

► **Concours interne du CAER / Agrégation de l'enseignement privé :**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EAH	1416A	102	7048

## COMPOSITION DU SUJET

- **TEXTE DU SUJET** : description de la situation proposée à l'étude, des problématiques abordées, parties et questions à traiter par le candidat.

pages 1 à 19

- **DT : DOCUMENTS TECHNIQUES** - documents spécifiques et relatifs au support de l'étude, données techniques.

pages 20 à 36

- DT01 : Plan de masse
- DT02 : Extrait Fiche technique WAVIN QBIC Plus
- DT03 : Gamme de produits WAVIN QBIC Plus
- DT04 : Extrait plan rez-de-chaussée de l'ancienne gare routière
- DT05 : Détail structure existante - Plancher haut RdC ancienne gare routière
- DT06 : Extrait du diagnostic structurel
- DT07 : Sondages
- DT08 : Courbes des moments sous une charge unitaire
- DT09 : Plan de la charpente
- DT10 : Sollicitations : Poutre 76 - HEA 280
- DT11 : Conditions météorologiques retenues.
- DT12 : Isolation des parois opaques.
- DT13 : Résultats de la simulation thermique dynamique
- DT14 : Schéma de principe de la CTA de la salle 900
- DT15 : Courbes NR (Noise Rating)
- DT16 : Caractéristiques du silencieux F2A Sonie R-BS 65+

- **DR : DOCUMENTS RÉPONSES** - documents qui seront à compléter et à rendre par le (ou la) candidat(e), tous les documents réponses sont à rendre, même non complétés.

pages 37 à 38

- DR1 : Étude du positionnement du bassin
- DR2 : Diagramme de l'air humide

Les feuilles de copie remises au (à la) candidat(e) viendront compléter ces documents et permettront au (à la) candidat(e) de répondre au questionnement.

Après avoir complété les en-têtes, le (ou la) candidat(e) remettra en fin d'épreuve ses copies paginées et les documents réponses aux questions.

### Le sujet comporte 4 parties distinctes :

Les parties et les questions dans chaque partie peuvent être traitées souvent de façon indépendante.

- 1<sup>re</sup> partie : bassin de rétention des eaux pluviales
- 2<sup>e</sup> partie : réhabilitation de la structure existante en béton armé
- 3<sup>e</sup> partie : étude de la coupole et du proscenium
- 4<sup>e</sup> partie : traitement de l'air de la grande salle

La présentation des réponses doit être soignée et toutes les réponses doivent être justifiées. L'évaluation tient compte de la pertinence des justifications.

<b>Agrégation SII - option ingénierie des constructions</b>		<b>Session : 2021</b>
Étude d'un système, d'un procédé et d'une organisation	Code :	<b>Page 2 sur 38</b>

## Scène Nationale de Clermont-Ferrand

Le futur équipement, destiné à l'installation de l'association « La Comédie de Clermont-Ferrand » titulaire du label « Scène Nationale » se situera en limite de l'hypercentre clermontois sur le terrain de l'ancienne gare routière. La réhabilitation de cette friche urbaine, mitoyenne de la Maison de la Culture, est attendue par la population depuis de nombreuses années.



Façade Nord côté Boulevard François Mitterrand

Le projet de Scène Nationale intègre la rénovation du bâtiment existant de l'architecte clermontois Valentin Vigneron, édifié entre 1957 et 1961 et protégé partiellement au titre des monuments historiques (inscription des façades Nord & Est, du hall & de sa coupole historique). Située au Nord du terrain boulevard François Mitterrand et mitoyenne de l'accès principal de la Maison de la Culture, l'ancienne gare routière formera « naturellement » la séquence d'entrée du nouvel équipement pour le public et constituera la véritable « façade identitaire » de la Comédie.



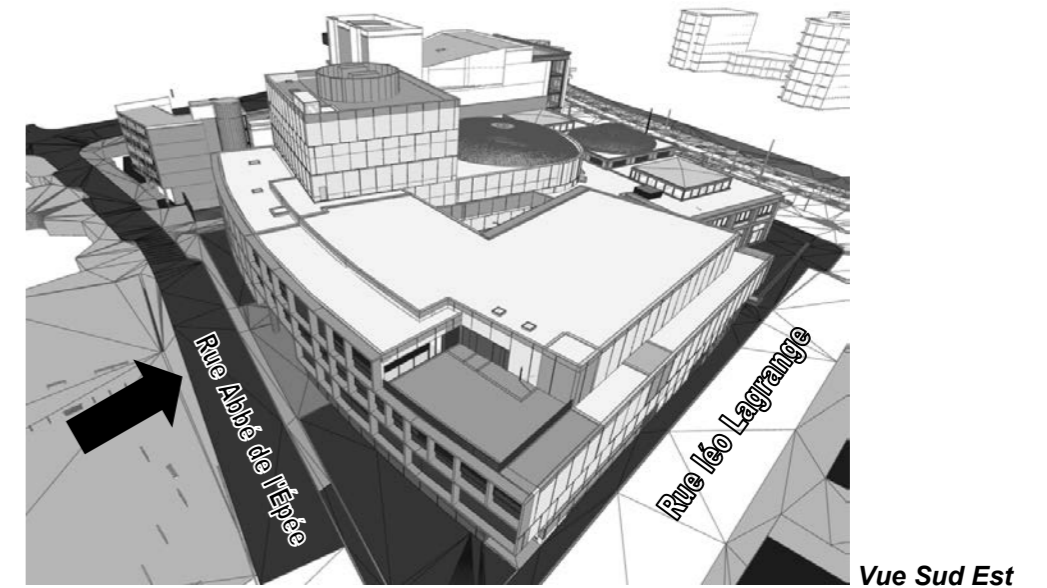
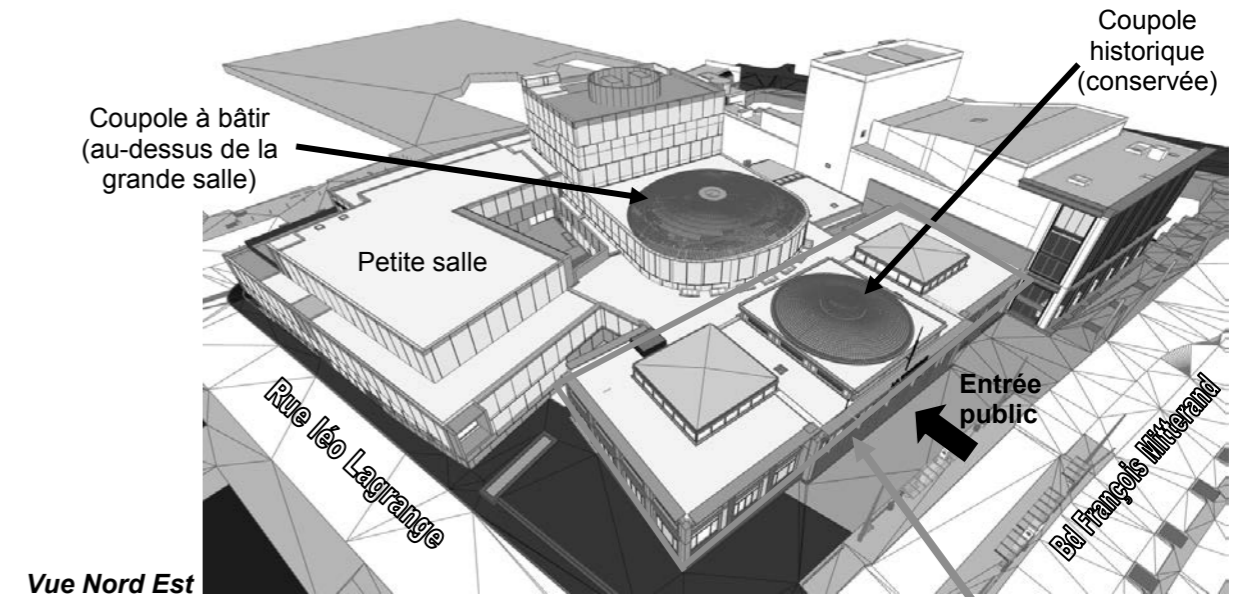
Ancienne gare routière Façade Nord (1960)



Ancienne gare routière Façade Sud avant travaux

Architecte Valentin Vigneron

### Localisation des ouvrages



Agrégation SII - option ingénierie des constructions		Session : 2021
Étude d'un système, d'un procédé et d'une organisation	Code :	Page 3 sur 38

Agrégation SII - option ingénierie des constructions		Session : 2021
Étude d'un système, d'un procédé et d'une organisation	Code :	Page 4 sur 38

## Description des équipements futurs

### - La séquence d'accueil des publics

Sans transformation majeure de son aspect originel et restauré à l'identique pour les parties protégées, le bâtiment conservé abrite notamment l'essentiel des fonctions d'accueil du public et de la presse, soit au rez-de-chaussée, le hall d'accueil et d'expositions, la billetterie et la brasserie.

Au 1er étage s'installent de part et d'autre du vide sur le hall, les foyers des 2 salles de spectacle, une partie du pôle de médiation culturelle, des locaux de réunion et la salle de réception de la presse.

La « salle des pas perdus » de l'ancienne gare routière change de statut pour devenir l'espace fédérateur de l'équipement. Elle s'ouvre également directement sur la brasserie, formant l'angle Nord-Est du rez-de-chaussée qui se prolonge par des terrasses extérieures rue Léo Lagrange. Cette brasserie peut fonctionner seule et en indépendance totale de l'équipement culturel.



Hall d'accès (Souto Moura Arquitectos – Bruhat & Bouchaudy)

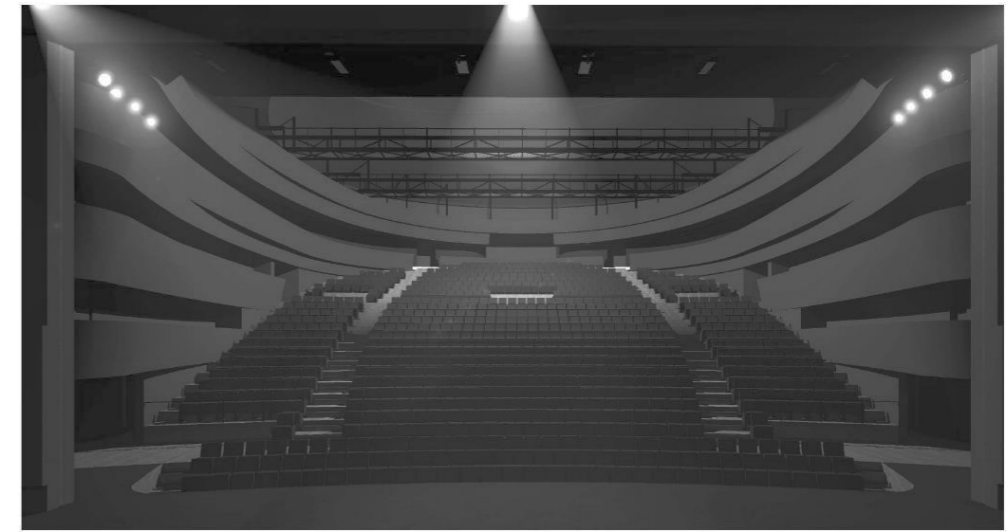
### - Les salles de spectacle

Une fois franchie cette séquence d'entrée, des espaces de transition éclairés naturellement, formant promenoirs et espaces de rencontre aux abords des salles de spectacles, conduisent progressivement les publics à celles-ci et à leurs services associés (sanitaires, vestiaires, foyers).

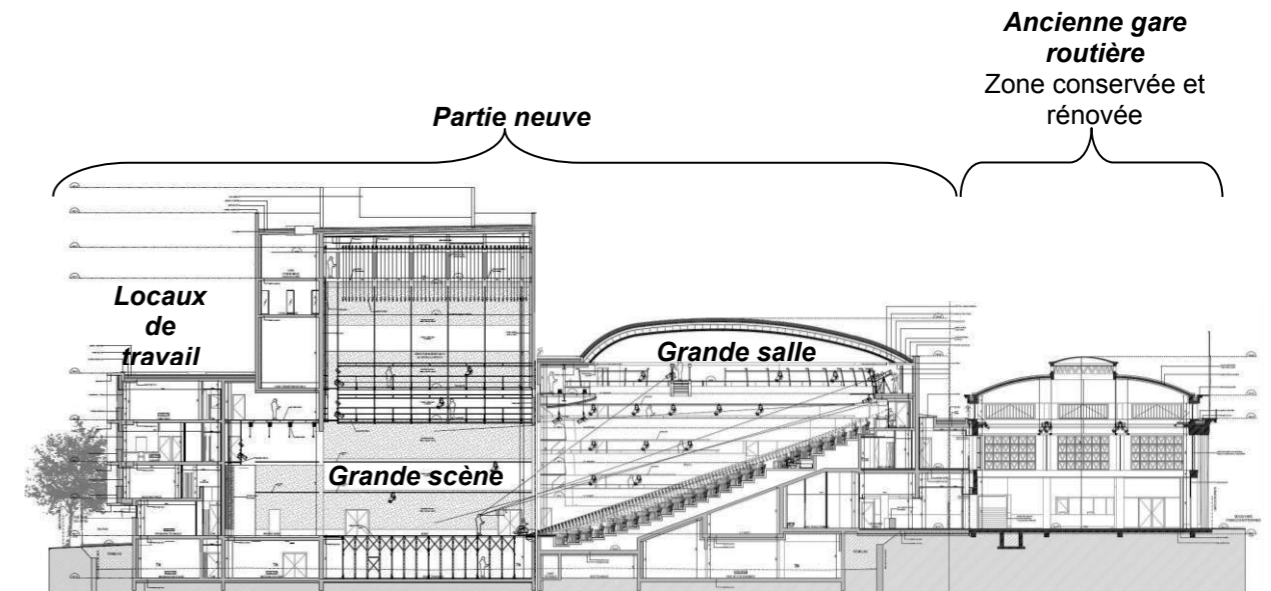
La salle de spectacles de 900 places (GS : Grande Salle) occupe sensiblement le milieu de la parcelle, la seconde salle de spectacles (PS : Petite Salle) s'installant pour sa part parallèlement à la rue Léo Lagrange, à l'Est. Les espaces interstitiels situés entre ces deux volumes majeurs du programme sont utilisés pour le stockage des décors et appareillages (au rez-de-chaussée) et accueillent les locaux de répétition (au 1er étage).

La scène de la grande salle dispose d'une arrière-scène directement accessible depuis la cour logistique.

La seconde salle (PS : Petite Salle) est pour sa part une salle modulable de jauge variable.



Grande Salle



Coupe longitudinale indicative (par l'axe des coupoles)

### - Les locaux de travail

La bande longitudinale Sud du terrain, le long de la rue Abbé de l'Épée, reçoit la quasi-totalité des locaux à destination professionnelle (dépôts, ateliers, stockages, loges, etc...), ainsi que la cour de service.

Agrégation SII - option ingénierie des constructions		Session : 2021
Étude d'un système, d'un procédé et d'une organisation	Code :	Page 5 sur 38

Agrégation SII - option ingénierie des constructions		Session : 2021
Étude d'un système, d'un procédé et d'une organisation	Code :	Page 6 sur 38

## ÉTUDE 1 : bassin de rétention des eaux pluviales

La construction de la grande scène nationale en site urbain oblige à étudier la rétention des eaux pluviales. La ville de Clermont Ferrand autorise un rejet dans le réseau existant (réseau unitaire) de  $2 \text{ l.s}^{-1}$ .

Il est décidé dans le C.C.T.P. que les ouvrages enterrés de gestion des eaux pluviales seront constitués d'une structure alvéolaire ultra légère (SAUL), de type WAVIN Q-BIC ou similaire.

L'objet de cette étude portera sur le dimensionnement du système de rétention/restitution. L'analyse géotechnique du site précise qu'il n'est pas possible d'envisager d'infiltration. Toutes les eaux recueillies devront donc être restituées dans le réseau existant.

Question 1 - Citer d'autres moyens de rétention des eaux en analysant leurs avantages et leurs inconvénients. Justifier dans le cas de ce projet le choix de la solution enterrée.

Question 2 - À partir des cotes indiquées sur le DT01, estimer la surface globale de l'impluvium (surface recevant les eaux de pluie).

Question 3 - Par une première approche, on considèrera un coefficient de ruissellement de 0,9 pour l'ensemble des surfaces de l'impluvium. Que pensez-vous de cette valeur en considérant les natures des différentes surfaces de l'impluvium ? Par conséquent, quelles pourraient-êtré les corrections à apporter de manière à obtenir un calcul plus précis ?

Question 4 - Afin de calculer le volume du dispositif de retenue/restitution des eaux, on utilisera la méthode de Montana dont les coefficients pour la ville de Clermont-Ferrand et pour une période de retour de 5 ans sont  $a = 7,3$  et  $b = 0,75$ .

Après avoir justifié les calculs dans un tableau, tracer les courbes représentant (en fonction du temps) :

- les volumes entrants,
- les volumes sortants.

On utilisera le découpage temporel suivant : 0, 6, 15, 20, 30, 60, 120, 180, 240, 360, 720, 1440, 2880 minutes.

On précise : Formule de Montana

$$h_t = a \cdot t_c^{1-b}$$

$h_t$  : hauteur de précipitation (en mm)

$a$  et  $b$  : coefficients de Montana

$t_c$  : durée de la pluie équivalente (en min ou en h)

Question 5 - Par une méthode au choix, donner la valeur de  $t_c$  qui correspond au remplissage maximum du bassin. En prenant un coefficient de sécurité de 20 %, déterminer le volume utile du bassin.

Question 6 - Le C.C.T.P. demande un volume utile de  $250 \text{ m}^3$ . Commenter l'écart trouvé avec la réponse à la question 5.

Question 7 - On prévoit de positionner les matériels type Q-BIC Wavin sous la cour de service accessible aux poids lourds par la rue de l'Abbé de l'Épée (voir DT02 et DT03). Étudier la possibilité de réaliser ce bassin dans l'espace donné en complétant la vue en plan schématique et la coupe A-A schématique du DR01.

Question 8 - En définitive, le bureau d'études préconise de positionner deux bassins ( $150 \text{ m}^3$  dans la cour de service et  $100 \text{ m}^3$  sous la terrasse de la brasserie). Commenter ce choix.

Agrégation SII - option ingénierie des constructions		Session : 2021
Étude d'un système, d'un procédé et d'une organisation	Code :	Page 7 sur 38

Agrégation SII - option ingénierie des constructions		Session : 2021
Étude d'un système, d'un procédé et d'une organisation	Code :	Page 8 sur 38

Tournez la page S.V.P.

## ÉTUDE 2 : réhabilitation de la structure existante en béton armé

Le projet comprend la réhabilitation de l'ancienne gare routière (en partie classée). Dans ce cadre, il a été réalisé un diagnostic de la structure, analyse du béton en place, scan des armatures...

Cette étude 2 propose d'analyser une partie de l'existant pour valider ou non d'un point de vue structurel le bâtiment dans sa future utilisation.

Il sera également demandé de proposer des solutions technologiques afin d'améliorer les performances de cette structure.

Cette étude se limitera à la poutre Cas n°1 selon l'extrait du diagnostic du DT06 et DT07.

Question 9 - Déterminer la charge permanente  $g$  linéique que doit reprendre la poutre (les impacts des niveaux supérieurs s'appliquent uniquement sur les porteurs verticaux). Utiliser pour cela les DT04 et DT05.

On précise :

Béton armé C25/30	: $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$
Poids volumique du béton armé	: $\gamma_{B.A.} = 25 \text{ kN.m}^{-3}$
Poids volumique de la chape	: $\gamma_{Chape} = 22 \text{ kN.m}^{-3}$
Charges permanentes supplémentaires à prendre en compte	: $0,5 \text{ kN.m}^{-2}$

Question 10 - À partir du DT08, déterminer les moments maximums dus aux charges permanentes dans chacune des travées ainsi que leurs positions.

Nous souhaitons maintenant déterminer le moment ultime que peut reprendre cette poutre en travée.

Question 11 - À partir des diagrammes des déformations et contraintes rappelés ci-après (section d'aciers  $A_s$  et  $d$  connus), écrire les équations d'équilibre afin de déterminer de manière littérale :

- $y_u$ ,
- $M_u$  (moment règlementaire à l'état limite ultime que peut reprendre cette poutre).

Diagramme de répartition des déformations

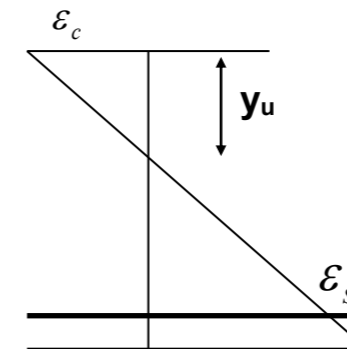
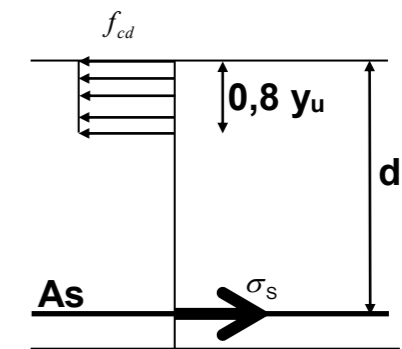


Diagramme de répartition des contraintes



- les aciers travaillent en zone plastique donc  $f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c}$  avec  $\gamma_s = 1,15$
- la contrainte dans le béton est égale à  $f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$  avec  $\gamma_c = 1,5$

Question 12 - En se limitant à l'étude des moments en travée, calculer la valeur du maximal à l'ELU  $M_{u\max}$  que peut reprendre cette poutre.

Question 13 - À partir du DT08, d'une réflexion graphique et des résultats précédemment obtenus, évaluer les moments maximums possibles dus aux charges d'exploitations que peut reprendre cette poutre (on rappelle que le calcul sera mené à l'ELU,  $M_u = 1,35M_g + 1,5M_q$ ).

Question 14 - Quelle est l'imprécision de cette méthode. Commenter.

Question 15 - Évaluer maintenant la charge d'exploitation possible linéique, puis surfacique. Les Eurocodes imposent pour cette structure une charge d'exploitation de  $250 \text{ daN.m}^{-2}$ . Conclure.

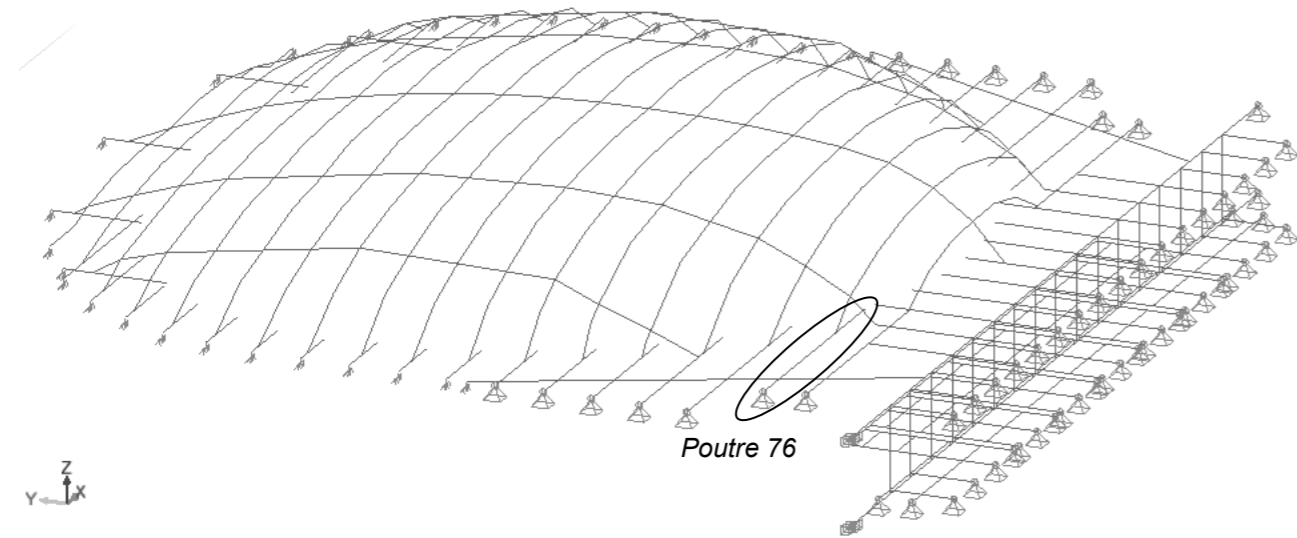
Question 16 - En revenant sur l'analyse globale de la poutre en travée et sur appuis, il s'avère que cette dernière n'a pas la résistance souhaitée. Proposer par des croquis détaillés, des solutions en travée et sur appui permettant de palier le problème.

Question 17 - Le diagnostic structurel met en évidence des enrobages insuffisants vis-à-vis des nouvelles normes de construction et notamment de la protection incendie. Proposer des solutions réparatrices.

# ÉTUDE 3 : étude de la coupole et du proscenium

Dans cette partie, il est proposé d'étudier la coupole sous 4 aspects différents :

- une analyse structurelle "globale",
- une vérification mécanique d'un élément de structure,
- une analyse acoustique,
- une analyse thermique.



Modèle numérique de la coupole

## 3-1 Analyse structurelle de la coupole

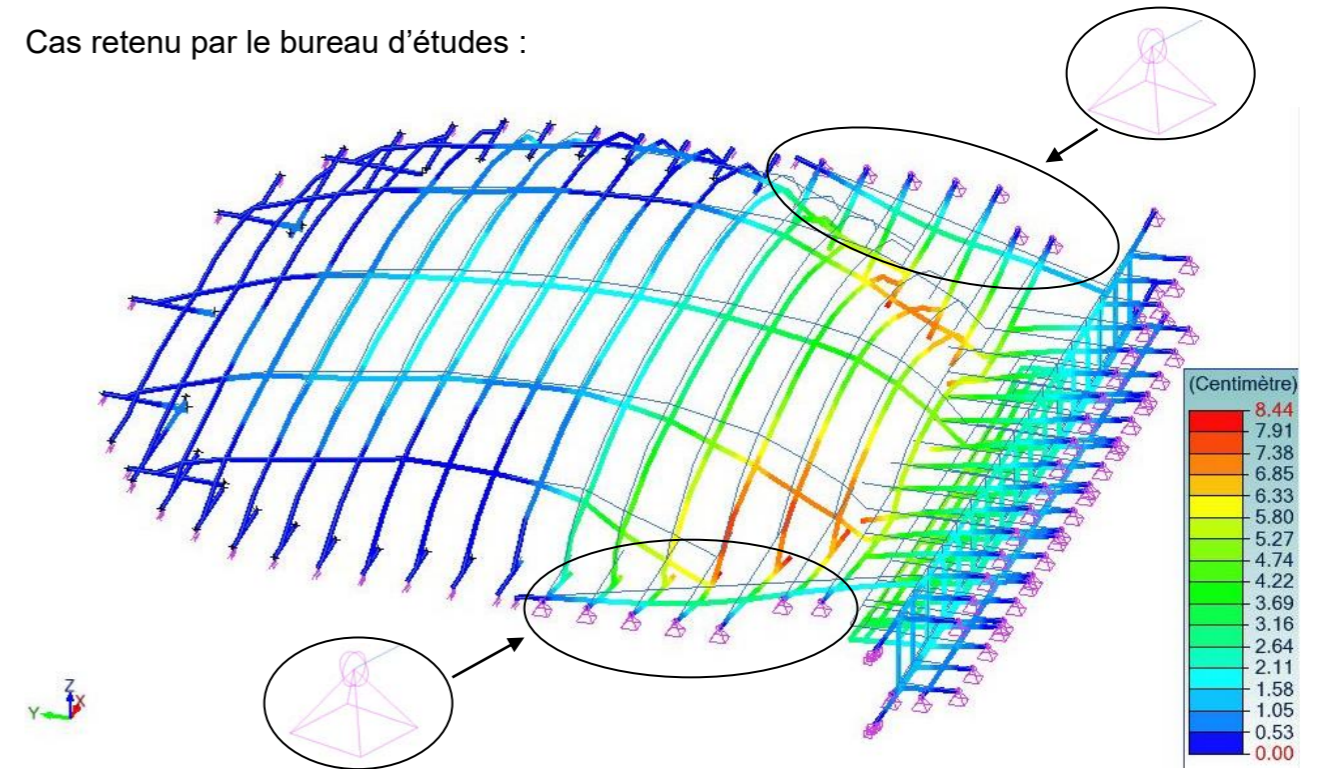
En phase de pré-étude et afin de connaître les efforts apportés par la coupole sur la structure béton qui la supporte, un bureau d'ingénierie en construction métallique a réalisé le modèle numérique ci-dessus.

Les liaisons envisagées avec la structure béton sous-jacente pour le modèle numérique sont les suivantes :

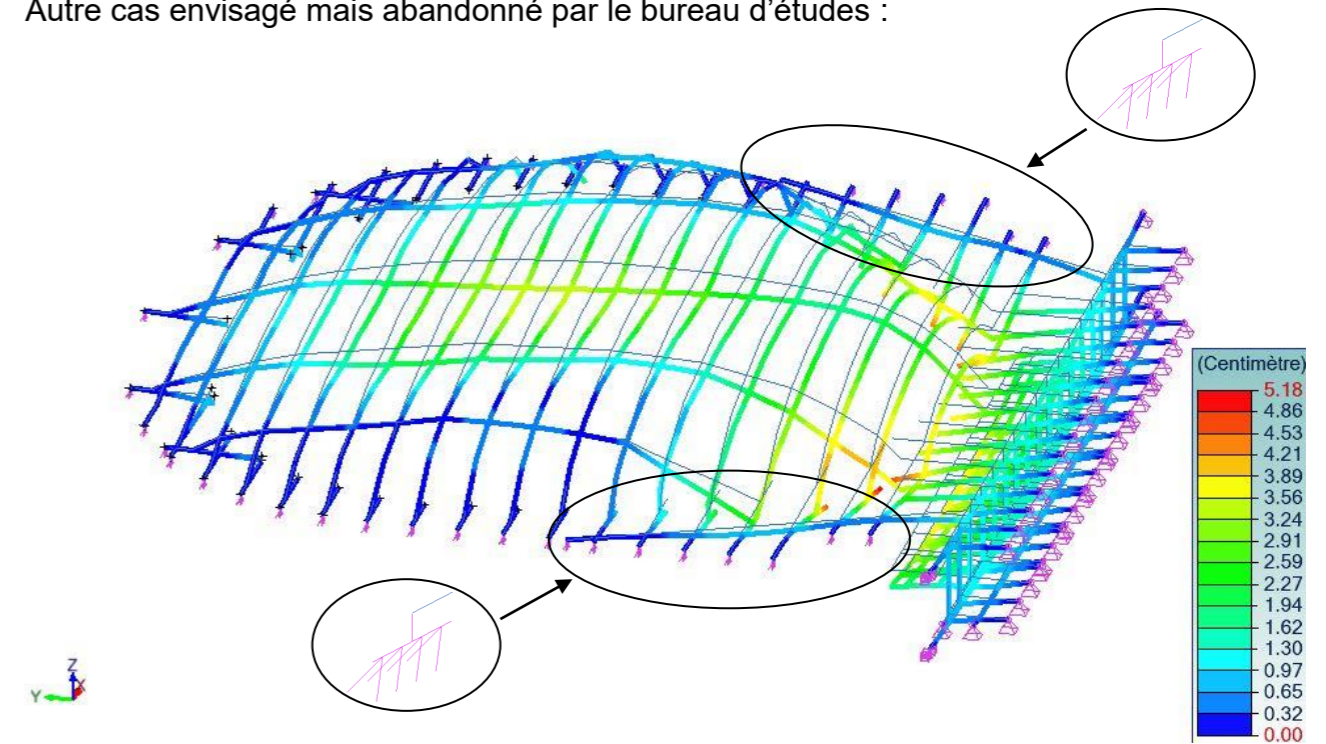
	1	2	3
Symbole logiciel			
Blocages	TX <input checked="" type="checkbox"/> Actif TY <input checked="" type="checkbox"/> Actif TZ <input checked="" type="checkbox"/> Actif RX <input checked="" type="checkbox"/> Actif RY <input checked="" type="checkbox"/> Actif RZ <input checked="" type="checkbox"/> Actif	TX <input checked="" type="checkbox"/> Actif TY <input checked="" type="checkbox"/> Actif TZ <input checked="" type="checkbox"/> Actif RX <input type="checkbox"/> Inactif RY <input type="checkbox"/> Inactif RZ <input type="checkbox"/> Inactif	TX <input checked="" type="checkbox"/> Actif TY <input checked="" type="checkbox"/> Actif TZ <input checked="" type="checkbox"/> Actif RX <input checked="" type="checkbox"/> Actif RY <input type="checkbox"/> Inactif RZ <input type="checkbox"/> Inactif

La visualisation numérique des déplacements verticaux maximums sur la structure et pour l'ensemble des combinaisons de charges est la suivante :

Cas retenu par le bureau d'études :



Autre cas envisagé mais abandonné par le bureau d'études :



Tournez la page S.V.P.



- Question 18 - Quels sont les avantages et inconvénients des liaisons choisies par le bureau d'études vis-à-vis :
- des sollicitations induites dans les voiles béton armé sous-jacents,
  - des déformations de la charpente métallique.

Question 19 - La flèche globale sur la structure est limitée à  $L/300$ . À partir du plan béton fourni DT09 évaluer cette flèche limite. Conclure quant à la validité des flèches obtenues sur le modèle du bureau d'études.

### **3-2 Vérification de la poutre 76 en HEA 280 en S275**

Les sollicitations fournies par le logiciel le long de cette poutre dans la combinaison à l'ELU la plus défavorable vis-à-vis des contraintes normales sont données dans le DT10.

Question 20 - Vérifier le profilé vis-à-vis des contraintes normales dans la section la plus sollicitée. On limitera au domaine élastique l'utilisation de ce matériau. Justifier le choix de la section droite vérifiée. Détailler le calcul de résistance des matériaux. Conclure quant à la résistance de ce profilé vis-à-vis des contraintes normales.

Question 21 - Sur ce profilé, quels seraient les autres critères à prendre en compte pour valider pleinement son choix.

### **3-3 Analyse acoustique de la coupole**

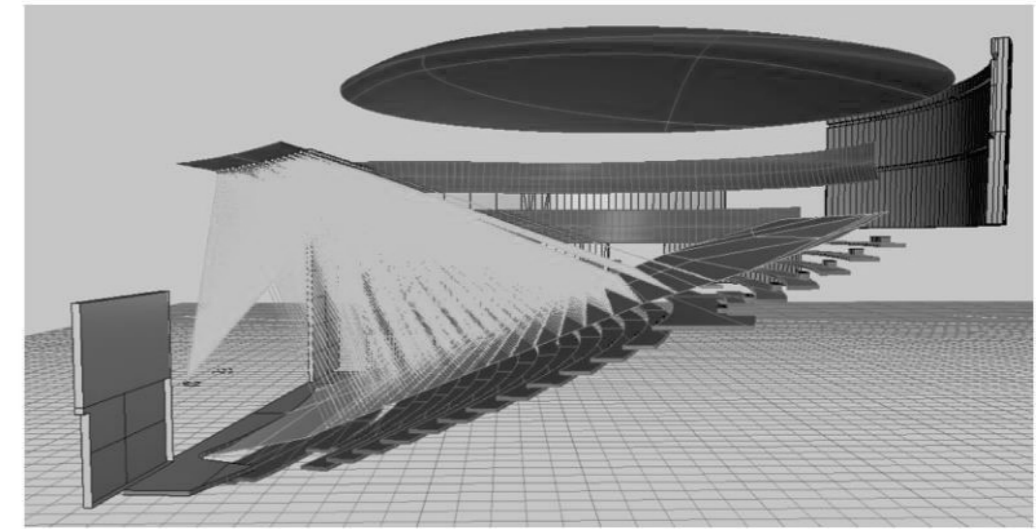
Le rapport du bureau d'études acoustique indique pour la coupole :

« 4.2 Concepts généraux

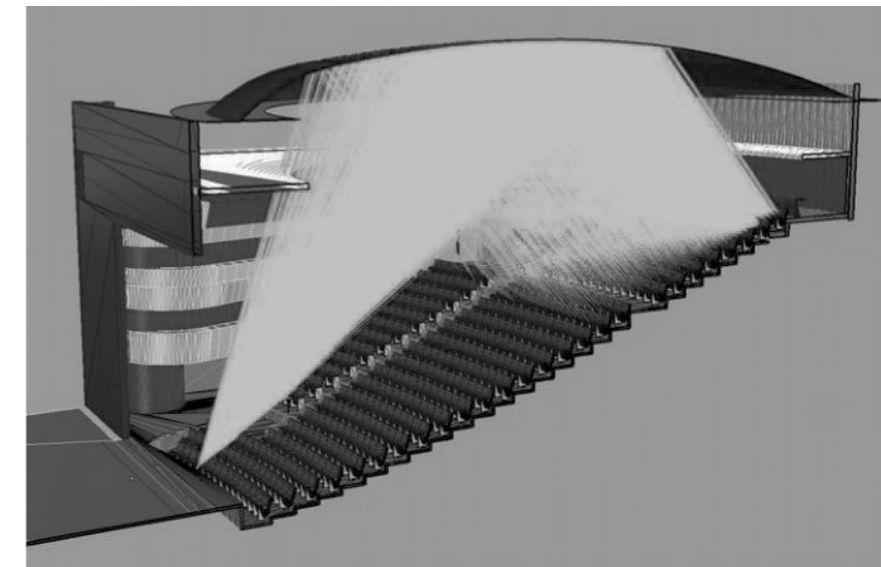
4.2.1 Salle 900

À l'exception de la coupole, les parois de l'enveloppe extérieure de la salle 900 sont en béton plein. Les élévations sont des voiles béton de forte épaisseur isolés par l'intérieur et les toitures sont isolées par l'extérieur avec un isolant en laine de roche surmonté d'une étanchéité élastomère.

La coupole est réalisée sur le principe d'un complexe triple peau avec la peau extérieure en zinc posé sur un isolant en laine de roche de forte épaisseur reposant sur un bac acier. Le plafond de la coupole est constitué de plaques de plâtre surmontées d'un isolant en laine minérale et fixé sur suspentes anti-vibratiles tant pour réduire le niveau sonore des intempéries sur la toiture et isoler vis-à-vis des bruits extérieurs que pour limiter le rayonnement acoustique de la toiture lors des manifestations sonorisées. »



*Tir de rayons 3D du réflecteur acoustique d'avant-scène, couvrant 2/3 du parterre.*



*Tir de rayons 3D de la coupole assemblée (v7), renvoyant une quantité importante de réflexions précoces utiles vers l'arrière du parterre (l'avant du parterre reçoit des réflexions depuis le réflecteur d'avant-scène, non montré dans cette image), pour une source à proximité du nez de scène.*

Question 22 - Lister l'ensemble des bruits extérieurs que la coupole doit isoler et leur mode de propagation. Indiquer le traitement acoustique envisagé dans la conception de la paroi.

Question 23 - À partir de l'étude acoustique des réflexions sonores dans la grande salle, justifier la forme particulière de la coupole (voir DT09).

### 3-4 Analyse thermique de la coupole

Le rapport du bureau d'études thermique précise :

« Objectifs de l'étude :

Les études par simulation thermique dynamique du projet vont permettre d'estimer, en décrivant rigoureusement l'enveloppe du bâtiment, ses caractéristiques architecturales, son environnement extérieur et ses influences internes, les besoins énergétiques du bâtiment et le confort d'été. L'outil de simulation thermique dynamique reconstitue demi-heure par demi-heure le bilan thermique complet du bâtiment. Ces calculs très détaillés permettent notamment de prendre en compte :

- La dimension des ouvertures pour la ventilation et leurs caractéristiques,
- L'inertie précise des modes constructifs retenus,
- L'impact précis des masques solaires dus à l'architecture.
- Les scénarios d'occupations et d'apports internes...

Cette étude prend en compte les modifications du projet au cours de la phase APD. »

Les simulations ont été réalisées sur la base des plans du 12 Juillet 2016. La géométrie de certains éléments (coupole, toiture de la salle 900, gradins) a dû être simplifiée. Ces différences ne remettent pas en cause les résultats obtenus. La modélisation est réalisée dans le respect des descriptifs APD.

Situation : Clermont Ferrand, Altitude moyenne 388m, latitude 45°46'13" Nord, longitude 3°05'04" Est. »

Question 24 - Dans le document DT11, le rayonnement diffus est distingué du rayonnement direct. Quel est l'intérêt de réaliser une simulation thermique dynamique sur ce projet ?

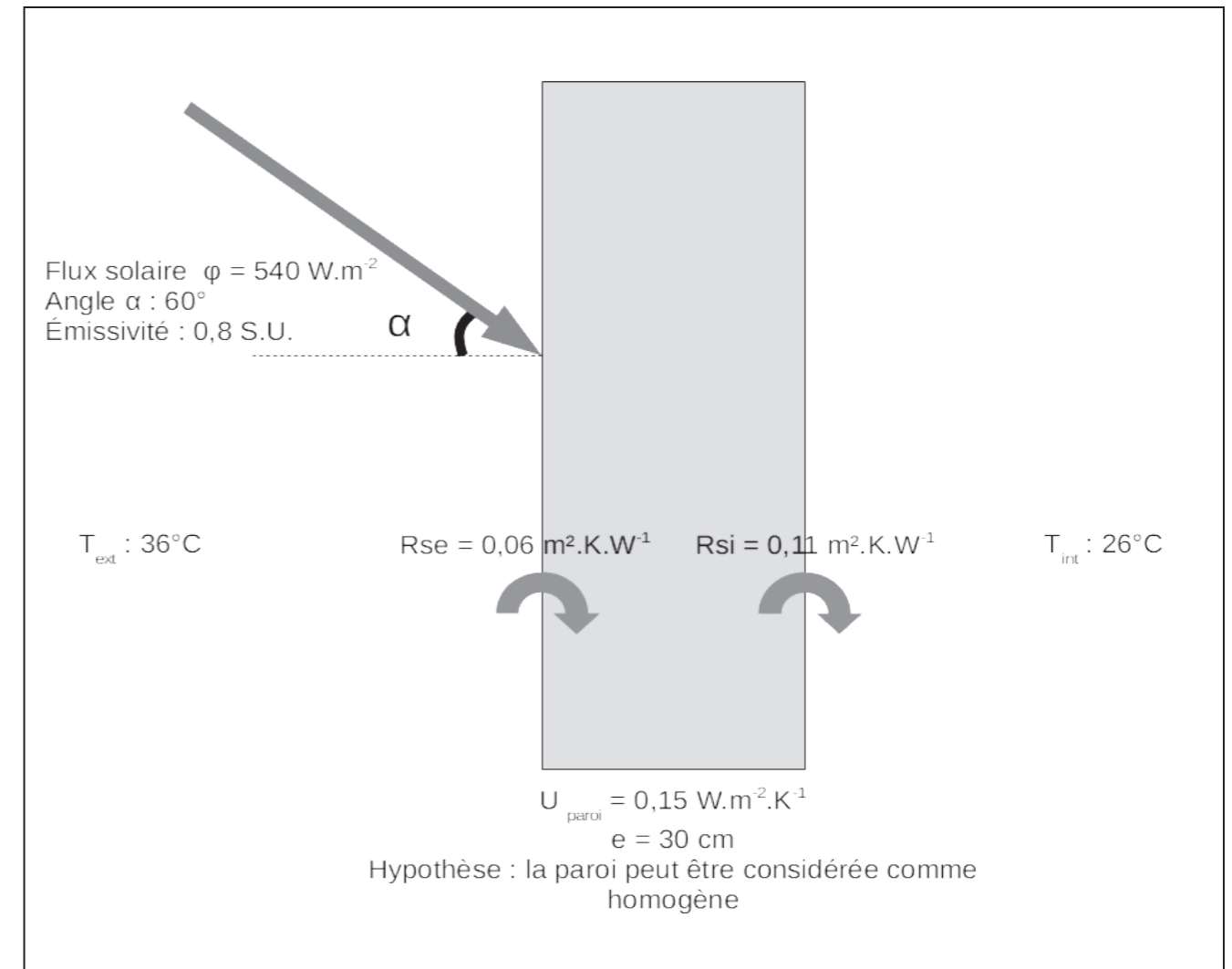
Question 25 - Dans la modélisation thermique, la forme de la coupole a été simplifiée et devient une sphère (voir DT09). Justifier les termes suivants : « La géométrie [...] a dû être simplifiée. Ces différences ne remettent pas en cause les résultats obtenus ».

Question 26 - Justifier l'incidence des paramètres suivants : G\_Gh, G\_Dh, Ta, FF, DD, Lg, RR, RH dans la simulation thermique dynamique du bâtiment.

Question 27 - À partir du DT13 présentant les résultats des simulations thermiques dynamiques, justifier l'intérêt de la sur-ventilation nocturne dans le cas de ce bâtiment, déterminer l'économie d'énergie annuelle engendrée pour la totalité du bâtiment, indiquer l'impact sur les installations techniques nécessaires. Dans plusieurs scénarii, une dérive des conditions intérieures est prévue, justifier ce choix.

Question 28 - À partir des extraits de CCTP (DT12) présentant la paroi sud de la grande salle, indiquer par un schéma, les grandeurs à prendre en compte pour réaliser la simulation thermique, indiquer quels paramètres sont invariants en fonction du temps.

On utilisera dans la suite du sujet, le modèle simplifié suivant de la paroi :



Question 29 - On considérera que la paroi est uniquement composée d'isolant. Justifier cette hypothèse.

À partir du DT12, réaliser le bilan thermique pour une unité de surface de la paroi en régime permanent, déterminer les températures à chaque interface.

Question 30 - En considérant les conditions météorologiques stables, déterminer le temps nécessaire pour atteindre le régime permanent ( $C_p = 2100 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ,  $\rho = 50 \text{ kg.m}^{-3}$ ). Quelle grandeur caractérise ce temps ?

## ÉTUDE 4 : étude du traitement de l'air de la grande salle

L'entreprise exécutante doit, à partir des documents transmis, dimensionner, sélectionner, installer et mettre en service l'ensemble des équipements du lot.

Nous nous focaliserons ici sur le traitement de l'air de la grande salle (Lot 04-a).

### Extrait du CCTP « 2.4.1 TRAITEMENT DE LA SALLE 1

Le traitement thermique en chauffage et rafraîchissement de la salle 1 est réalisé par le système de traitement d'air grâce à deux CTA (06a et 06b) dédiées. Le principe de diffusion est réalisé par déplacement d'air permettant d'obtenir un très bon confort et un très faible niveau sonore (petites vitesses et faible écart de température au soufflage). Les CTA sont installées en local technique au sous-sol et elles se composent des équipements suivants :

Coté « Soufflage »: Registre motorisé anti-gel, pré-filtre G4, filtre F7, caisson de mélange, « récupération » de type échangeur à roue de rendement 80%, batterie eau chaude, batterie eau glacée, ventilateur de soufflage avec variateur, registre motorisé asservi à une détection autonome (DAD).

Coté « Extraction » : Pré-filtre M5, récupération, ventilateur d'extraction avec variateur.

Des pièges à son sont positionnés au soufflage, à la reprise et sur les réseaux d'air neuf et de rejet. L'air est soufflé à une température en été de 21°C et 24°C en hiver.

L'air sera soufflé dans un plénum et est introduit dans la salle à travers des bouches de soufflage au sol. La reprise est située en partie haute de la salle, de la cage de scène et de l'arrière scène. Ces CTA desservent également la régie qui est en dépression par rapport à la salle. Les réseaux de soufflage et d'air neuf sont calorifugés. Les réseaux de reprise le sont dans les locaux non chauffés ou en extérieur. Des grilles de transfert sont positionnées en partie haute entre la cage de scène et la salle pour équilibrer les pressions en assurant un passage d'air quand le rideau est baissé.

Des sondes de qualité d'air situées à la reprise font varier le débit d'air neuf en fonction de l'occupation de la salle.

Les réseaux d'air neuf et de rejet sont dimensionnés pour le débit maximum, permettant ainsi de traiter la salle en free cooling lorsque les conditions extérieures le permettent (fonctionnement 100% air neuf et arrêt des batteries de CTA).

Les mesures suivantes sont mises en place pour respecter les contraintes acoustiques : Faibles vitesses d'air dans les réseaux terminaux suivant notice acoustique, faible vitesse sur les grilles de reprise 1.5 m.s<sup>-1</sup>, socles avec interposition d'un résilient, pièges à son, supportages acoustiques des réseaux ».

Question 31 - Préciser le rôle des composants suivants :

- « Pré-filtre G4 » et « filtre F7 »,
- « récupération de type échangeur à roue de rendement 80% »,
- « des pièges à son sont positionnés au soufflage, à la reprise et sur les réseaux d'air neuf et de rejet. »,
- « supportages acoustiques des réseaux »,
- « des grilles de transfert sont positionnées en partie haute entre la cage de scène et la salle pour équilibrer les pressions en assurant un passage d'air quand le rideau est baissé. »

Question 32 - Le CCTP indique : « dans le cas des salles de spectacle, les apports de chaleur par l'extérieur peuvent être négligés par rapport aux apports internes dus aux occupants et aux matériels, les dérives provoquées par ce choix restent acceptables dans les conditions évaluées ». Justifier cette hypothèse et la nécessité d'un traitement de l'air actif.

On considère les conditions les plus défavorables pour le local « 900 » comme suit :

- Occupation maximale de 900 personnes dans la salle et 40 personnes sur la scène (84 W.pers<sup>-1</sup>, 77 g<sub>eau</sub>.pers<sup>-1</sup>.h<sup>-1</sup>),
- Éclairage et machinerie en marche soir 60758 W,
- Pas d'apport de chaleur de l'extérieur,
- Conditions extérieures (36°C, 50%),
- Conditions intérieures souhaitées (26°C, 50%).

Question 33 - Pour les conditions les plus défavorables, déterminer les charges thermiques et hydriques que devront traiter les CTA en été.

Question 34 - Déterminer la pente de la droite de soufflage en été, tracer celle-ci sur le DR2, déterminer le point de soufflage, le débit massique de soufflage et d'extraction (le local sera considéré à pression atmosphérique).

Question 35 - Les besoins en air neuf des occupants sont estimés à 25 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>.pers<sup>-1</sup> (ρ<sub>air</sub> = 1.2 kg<sub>as</sub>.m<sup>-3</sup> en première approximation), lorsque la salle 900 est affichée complète (940 personnes). Dans le cas le plus défavorable, l'efficacité de l'échangeur rotatif est estimé à 80%. A partir du DT13, déterminer les caractéristiques de l'air à l'entrée de la batterie froide, en déduire la puissance de celle-ci. Pour un régime de [6-13°C] et une entrée de l'air à 28°C et 50%, le constructeur indique que la puissance de la batterie froide est de 210 kW, sera-t-elle adaptée ou faudra-t-il demander une modification en usine ?

Question 36 - L'humidité n'étant pas contrôlée, les conditions intérieures risquent de changer. Déterminer les valeurs vers lesquelles elles vont évoluer.

Question 37 - Les déperditions en hiver ont été estimées à 29855 W pour un air extérieur aux conditions suivantes (-7°C, 95%). Indiquer quelles conditions sont les plus défavorables et doivent être prises en compte. Déterminer la puissance de la batterie chaude. Aucun humidificateur n'est prévu dans la centrale de traitement de l'air, justifier ce choix.

*Extrait de l'étude acoustique*

« Salle 900

*Les centrales seront choisies de sorte que le niveau sonore à l'intérieur des locaux CTA soit inférieur à NR65, limité à 70 dB(A).*

*Les centrales seront raccordées par des manchettes souples non tendues et suffisamment longues pour qu'il n'y ait aucun contact entre les centrales et le réseau de gaines. Le raccordement des batteries des centrales avec leur tuyauterie d'alimentation sera effectué par des flexibles. Les silencieux doivent être positionnés en sortie ou en entrée des locaux techniques (afin d'éviter tout by-pass). Dans le cas contraire, les portions de réseaux situées entre le silencieux et la paroi considérée doivent être caissonnées ou constituées d'un matériau d'efficacité acoustique supérieure ou égale à celle du silencieux.*

[...]

*Le soufflage se fait dans le plénum sous les gradins avec un grand nombre de branches pour assurer une diffusion satisfaisante tout en limitant le niveau sonore. La reprise se fait en partie haute du public par un conduit périphérique et par plusieurs grilles dans la cage de scène. Le plénum de soufflage sous gradins est tapissé de matériaux absorbants. »*

Question 38 - Un certain nombre de précautions seront prises lors de l'installation des CTA de la salle 900 (voir DT14), les justifier.

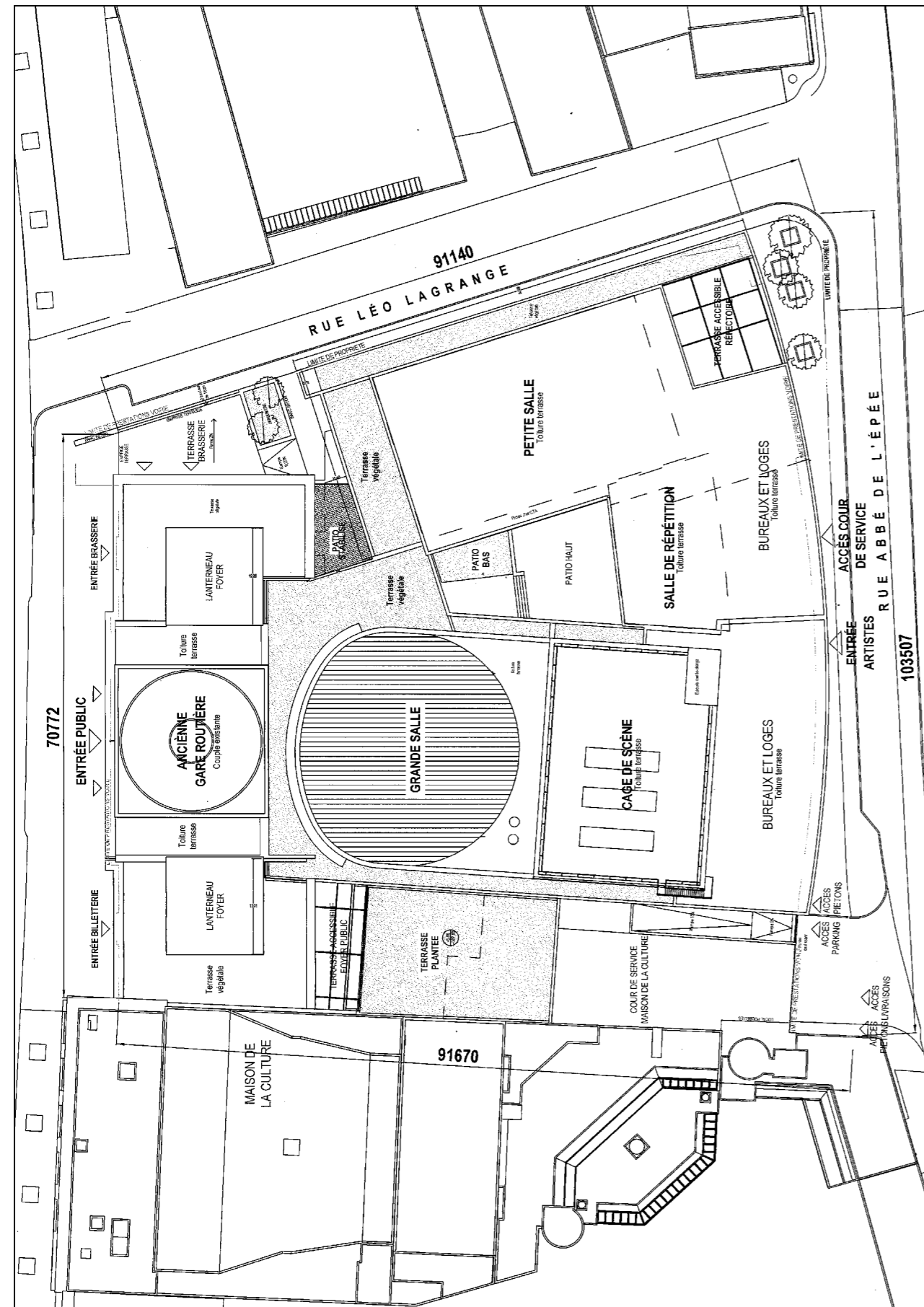
*L'étude acoustique du réseau de soufflage au niveau des bouches sous les gradins a conduit aux résultats suivants :*

<i>f</i>	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
<i>Lp</i>	48	50	51	53	57	57	48	39

Question 39 - Les préconisations acoustiques dans la salle 900 exigent de suivre la courbe NR15 (voir DT15), dans ces conditions est-ce le cas ? Quelles seraient vos préconisations ?

*On envisage la mise en place d'un silencieux F2A Sonie R-BS 65+, les caractéristiques de ce silencieux sont données dans le DT16.*

Question 40 - Vérifier le dimensionnement du silencieux envisagé.



## WAVIN Q-BIC PLUS

Type produit : Structure Alvéolaire Ultra Légère (SAUL) inspectable et nettoyable de type 4

Applications ouvrage enterré de gestion des eaux pluviales :

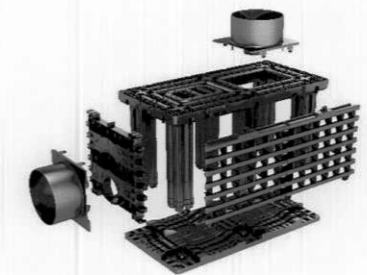
- Rétention / régulation / stockage
- Infiltration
- Stockage pour utilisation
- Stockage eau incendie / accidentel (sous réserve de compatibilité physique et chimique des matériaux)
- Percolation en tranchée drainante / infiltrante

Caractéristiques dimensionnelles d'un module Wavin Q-Bic Plus :

Longueur (mm)	Largeur (mm)	Hauteur (mm)	Hauteur effective (mm)	Volume brut (litre)	Volume net (litre)	Poids (kg)	Indice de vide	Ouverture puits d'inspection intégré (mm)
1200	600	630	600	432	416	14	≥ 95%	350 x 240

Dimensions effectives des canaux :

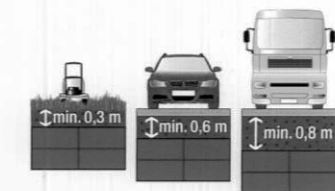
Sens longitudinal : 2 canaux		Sens transversal : 1 canal	
Hauteur (mm)	Largeur (mm)	Hauteur (mm)	Largeur (mm)
515	370	513	260



Matériau : Polypropylène recyclable (PP)






Domaine d'emploi :

- Hauteur de remblai minimum (m) :
  - Espace vert : 0,30
  - Chaussée trafic léger : 0,60
  - Chaussée trafic lourd : 0,80
- Nombre de couches : 6 maximums
- Hauteur de remblai maximum en couverture : 3,0 m environ
- Raccordement direct sur le bassin du Ø 160 au Ø 400 mm

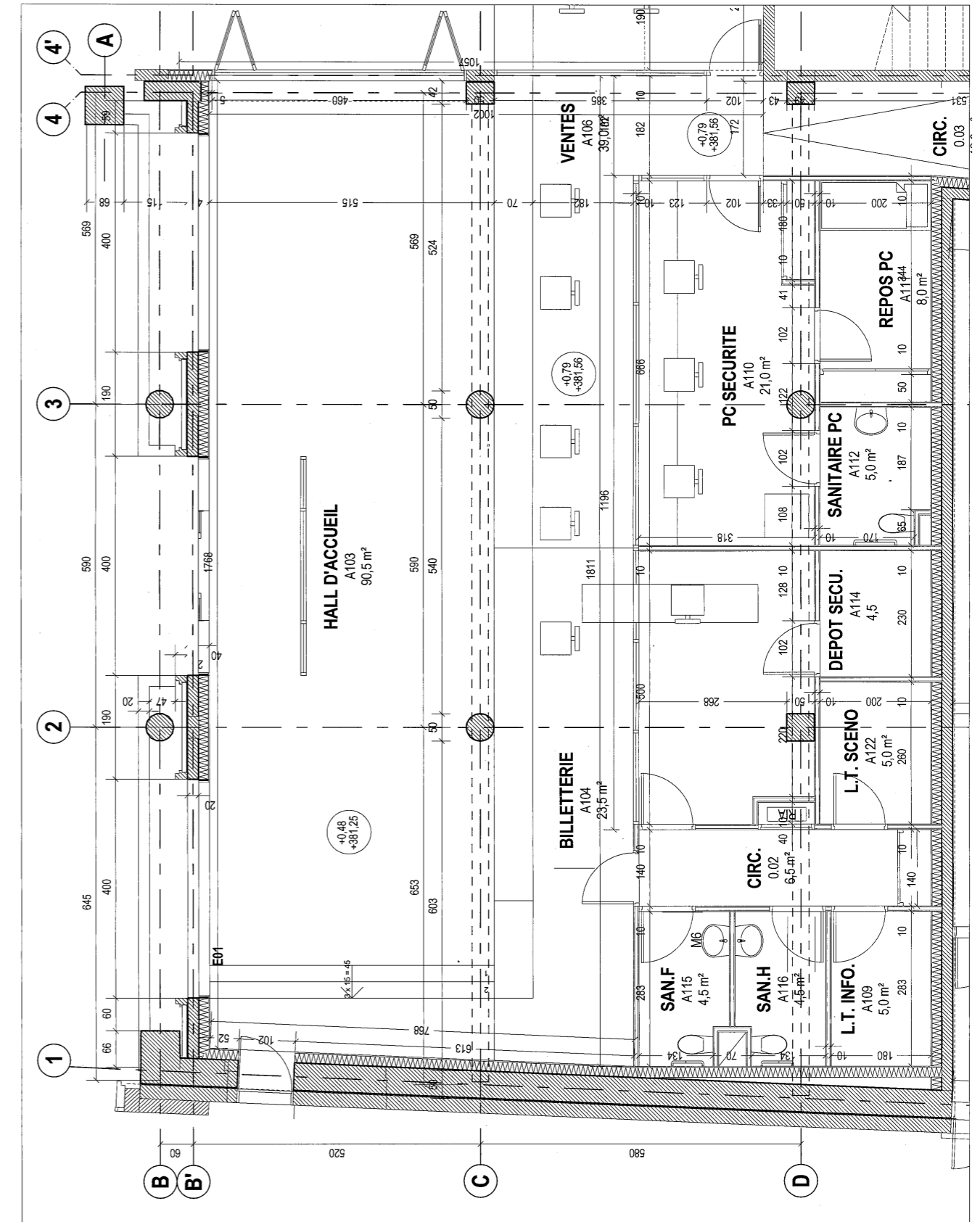


Ce domaine d'emploi est indicatif. Chaque chantier étant spécifique, une étude de résistance devra être réalisée par notre bureau d'études du Technopôle Wavin.

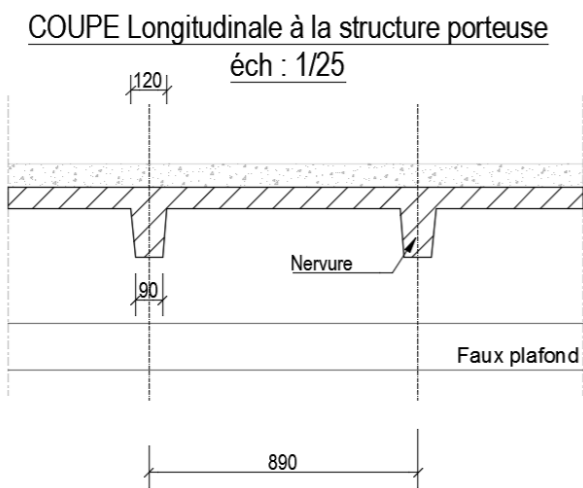
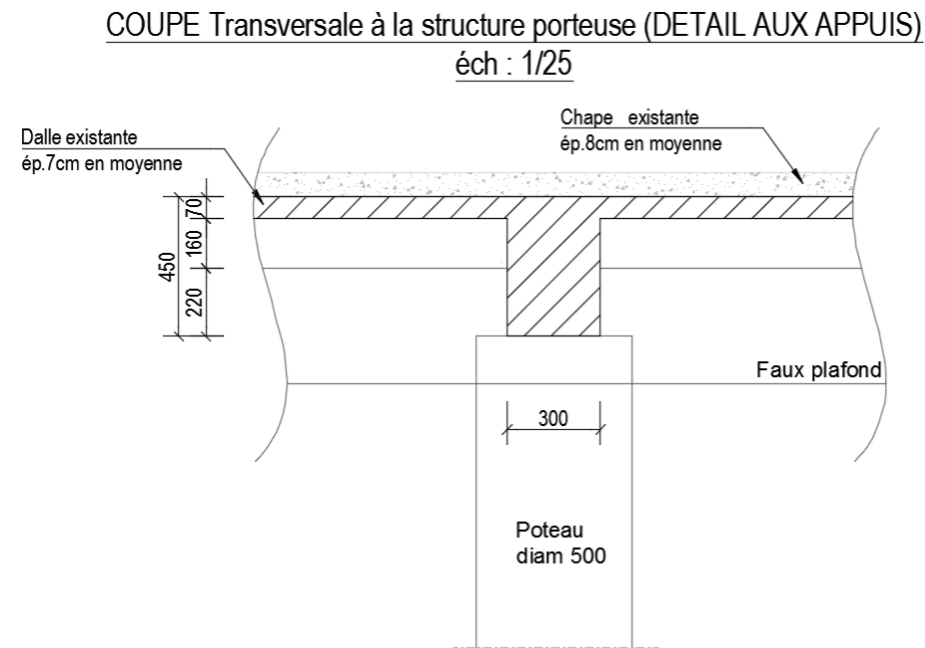
**DT03 - Gamme de produits WAVIN QBIC Plus**

Désignation		Dimensions hors tout (mm)	Dimensions effective (mm)	Conditionnement	Poids (kg)	Référence article
Module Wavin Q-Bic Plus		1200 x 600 x 630	1200 x 600 x 600	32 unités sans palette bois	14	3059730
Plaque fond		1200 x 600 x 70	1200 x 600 x 30 (hauteur volume mort : 40 mm)	16 unités (sans palette bois)	4,6	3059731
Plaque latérale		1200 x 600 x 50	-	24 unités (sans palette bois)	2,9	3059733
Jeu plaques latérales gauche + droite prédécoupées		1200 x 600 x 50	-	24 unités (malle carton sur palette bois)	2,9	3070654
Kit de connexion tube Ø160		600 x 530 x 370	-	Unité ou 8 cartons / palette	1,7	3070684
Kit de connexion tube Ø200		600 x 530 x 390	-	Unité ou 8 cartons / palette	1,7	3070685
Kit de connexion tube Ø315		600 x 530 x 220	-	Unité ou 8 cartons / palette	1,7	3070686
Kit de connexion tube Ø400		600 x 530 x 350	-	Unité ou 8 cartons / palette	6	3059738
Kit de connexion tube Ø500		630 x 590 x 340	-	Unité ou 4 cartons / palette	11	3059739 Droite 3071612 Gauche
Kit de connexion rehausse Ø315		390 x 360 x 210	-	Unité ou 16 cartons / palette	1	3070687
Kit de connexion rehausse Ø425		Ø ext. 425 x 200	-	Unité ou 8 cartons / palette	3,8	3072618
Kit de connexion rehausse Ø600		710 x 605 x 600	-	Unité ou 6 cartons / palette	4,5	3072769
Event Ø315		Ø ext. 315 x 270	-	Unité	0,8	3023813

**DT04 - Extrait du plan Rez-de-Chaussée - Ancienne gare routière.**

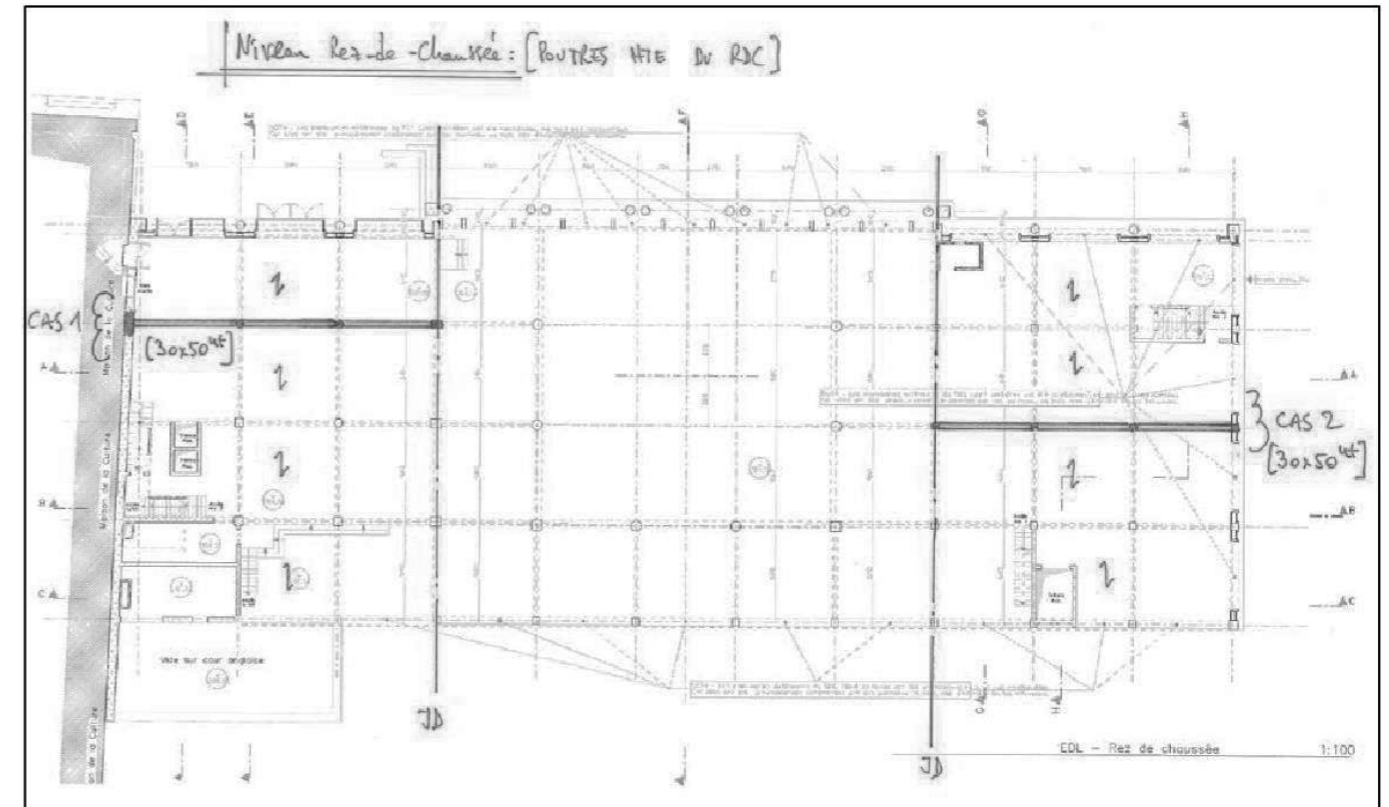


**DT05 - Détails de la structure existante - Plancher Haut RdC ancienne gare routière**



**DT06 - Extrait du diagnostic structurel**

**Zone d'étude (Plancher haut RDC ancienne gare routière) CAS n°1**

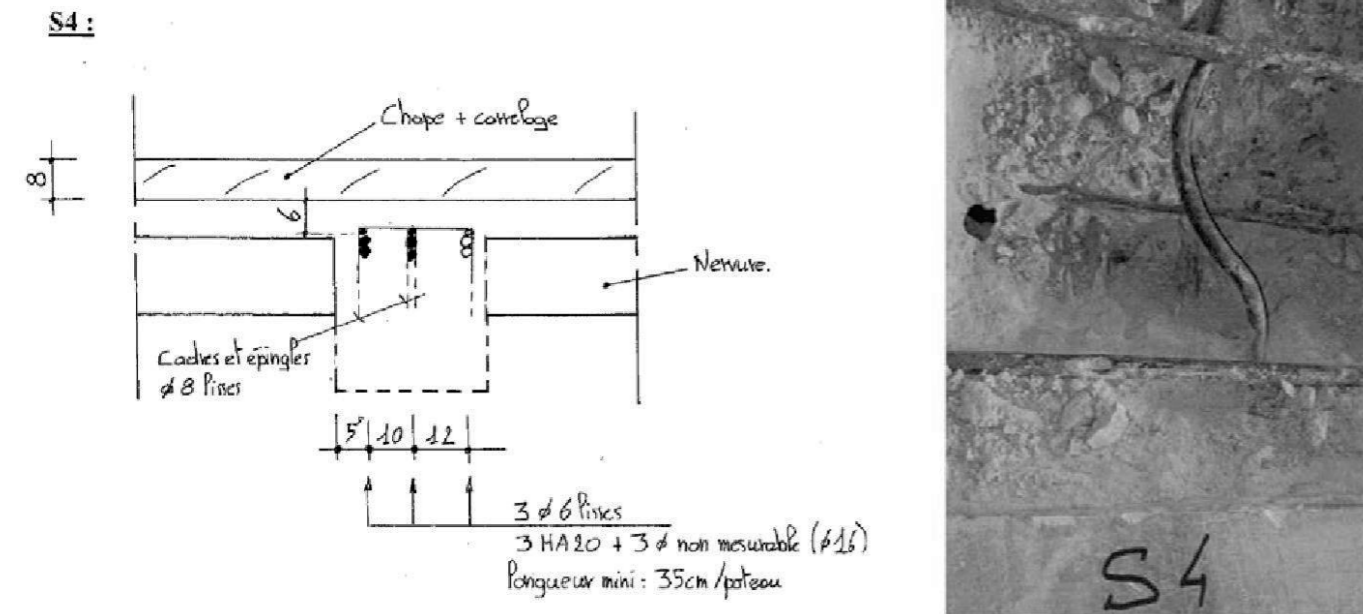


**Vue type de la structure existante**



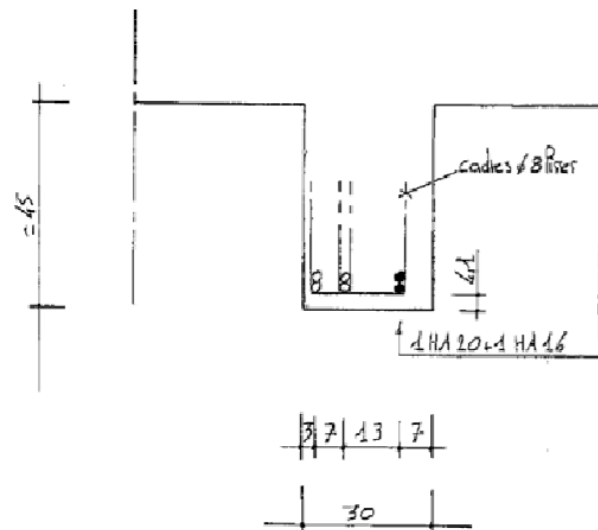
## DT07 - Sondages

### Sondage S4 : à considérer sur tous les appuis intermédiaires



Les armatures en ronds lisses sont probablement des aciers de montage en travée.

### Sondage S21 : à considérer dans les trois travées



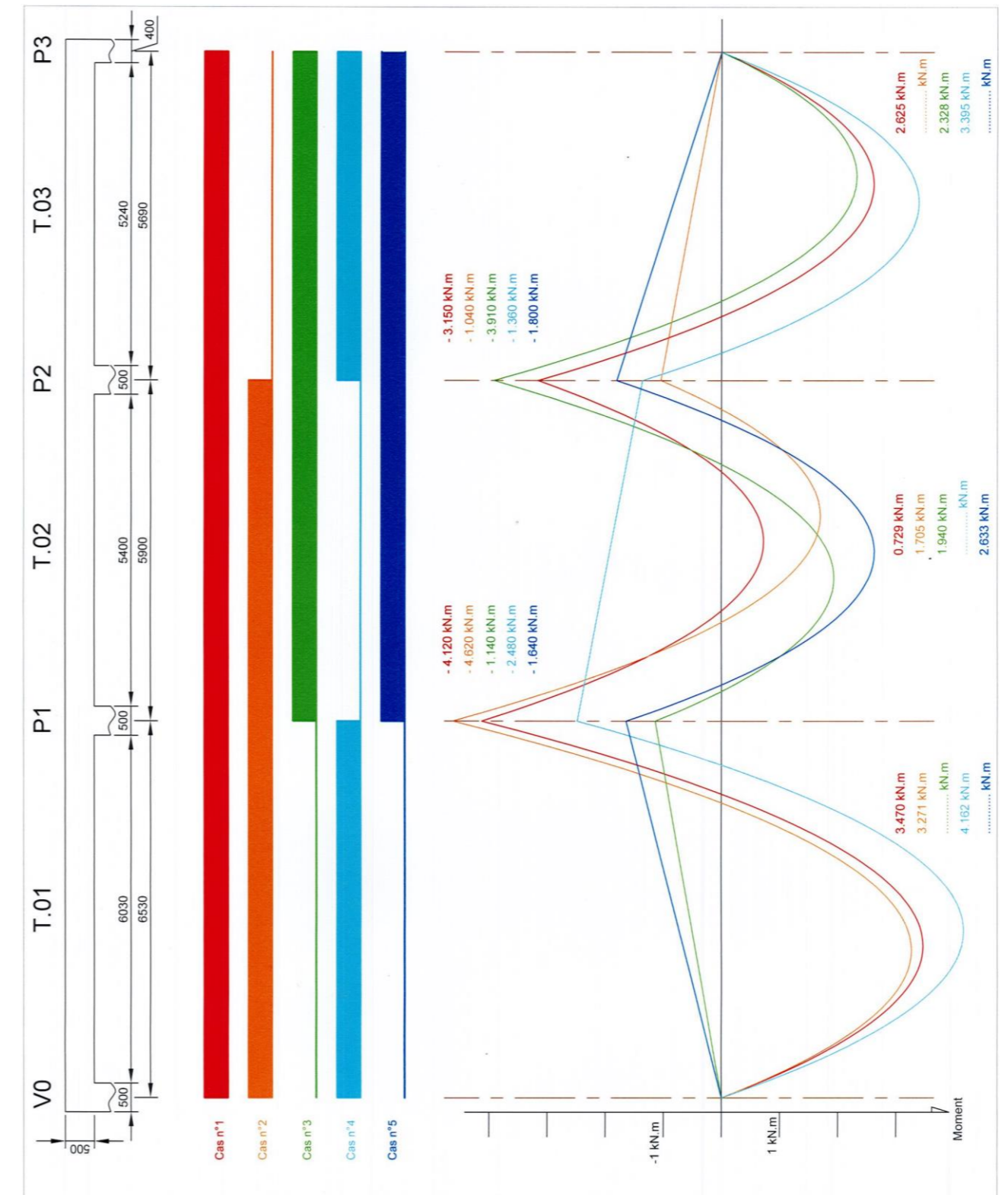
En travée, nous considérerons 3HA20 en 1er lit + 3HA16 en 2ième lit ( $A_s = 15,45 \text{ cm}^2$ ).

### Matériaux :

Les conclusions du diagnostic structural nous permettent de considérer après essais :

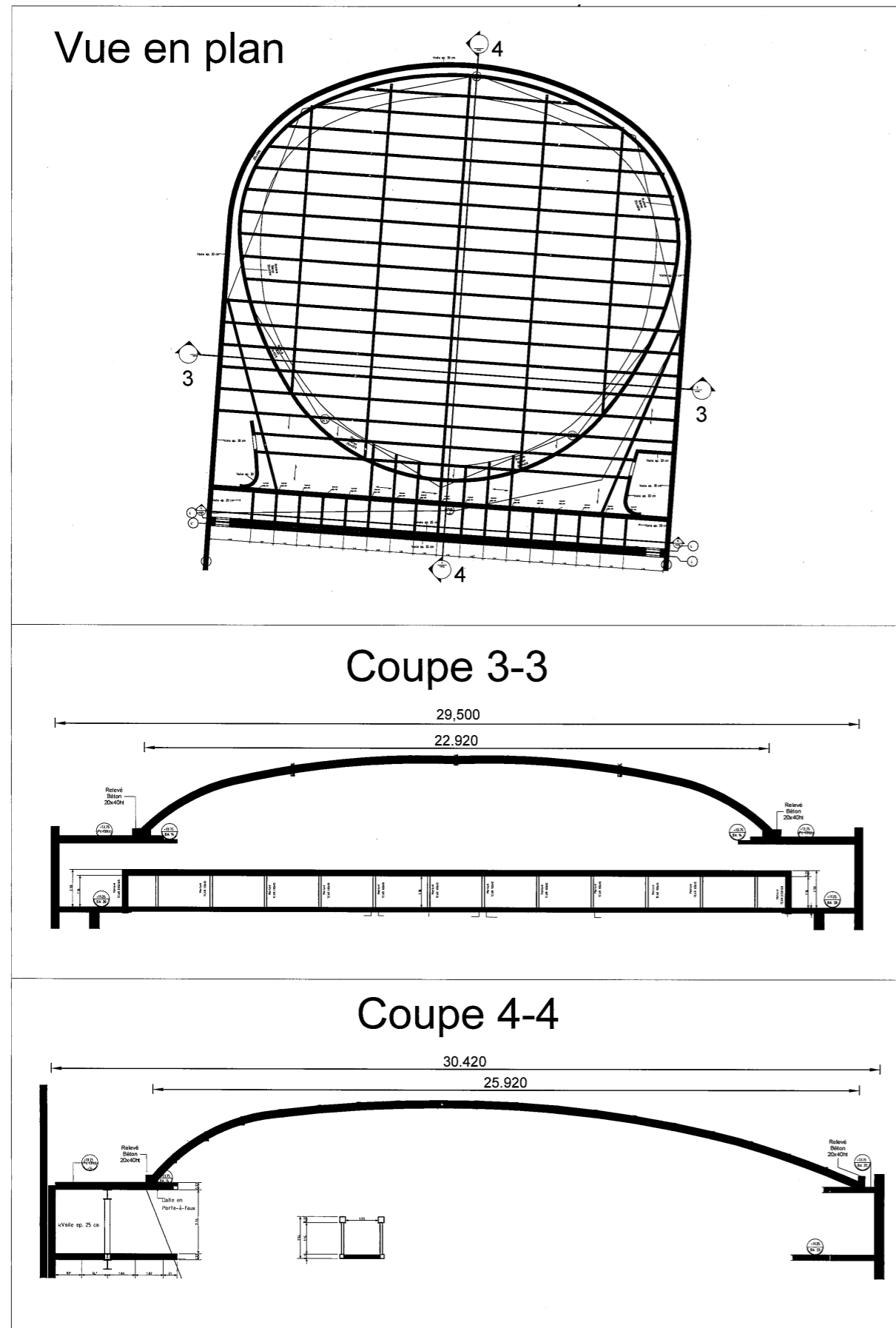
- un béton de classe C25/30 pour les poutres,
- des aciers HA Fe E400 (aciers longitudinaux),
- des aciers  $\Phi$  lisses Fe E235 (aciers transversaux).

## DT08 - Courbes des moments sous une charge unitaire de $1 \text{ kN.m}^{-1}$

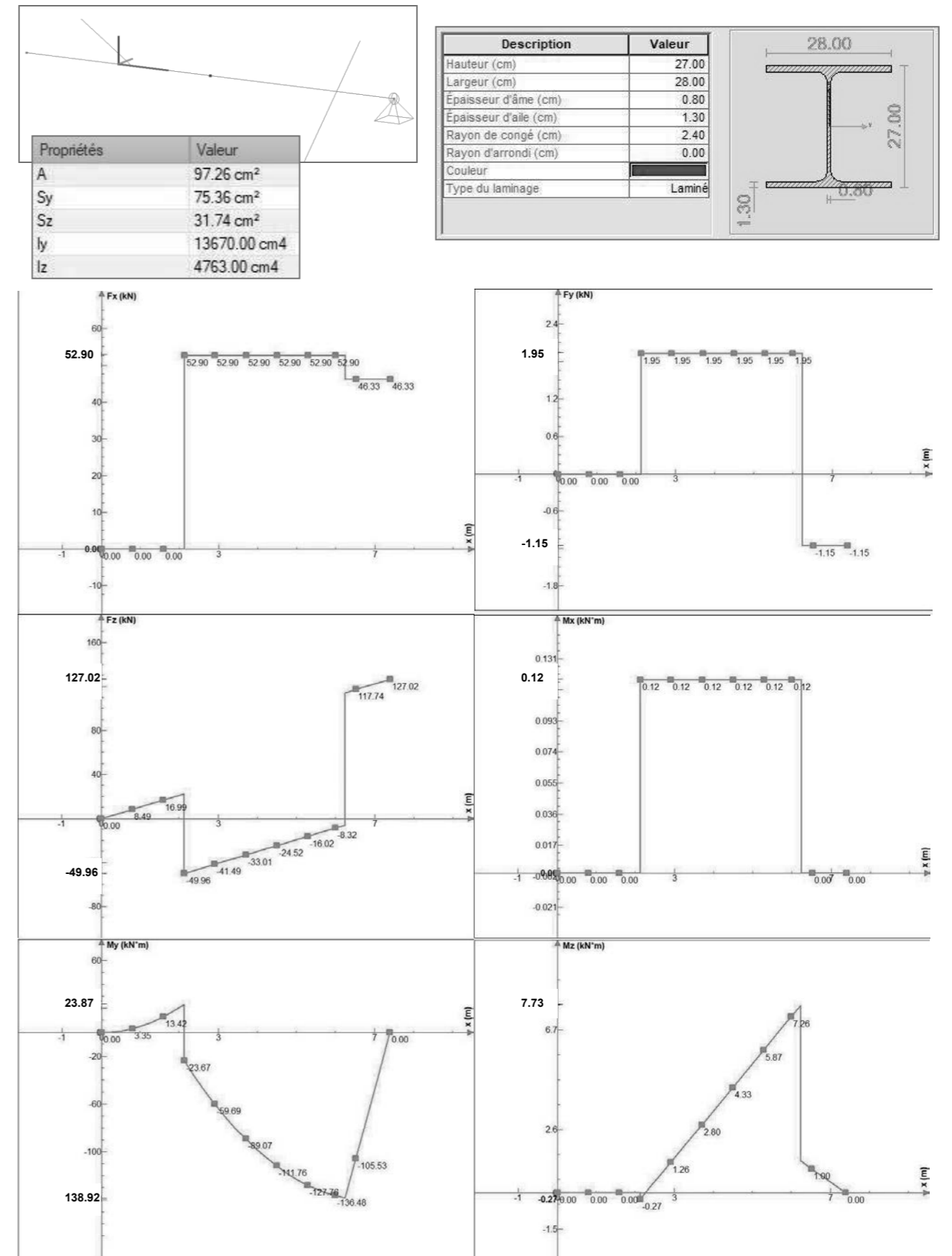




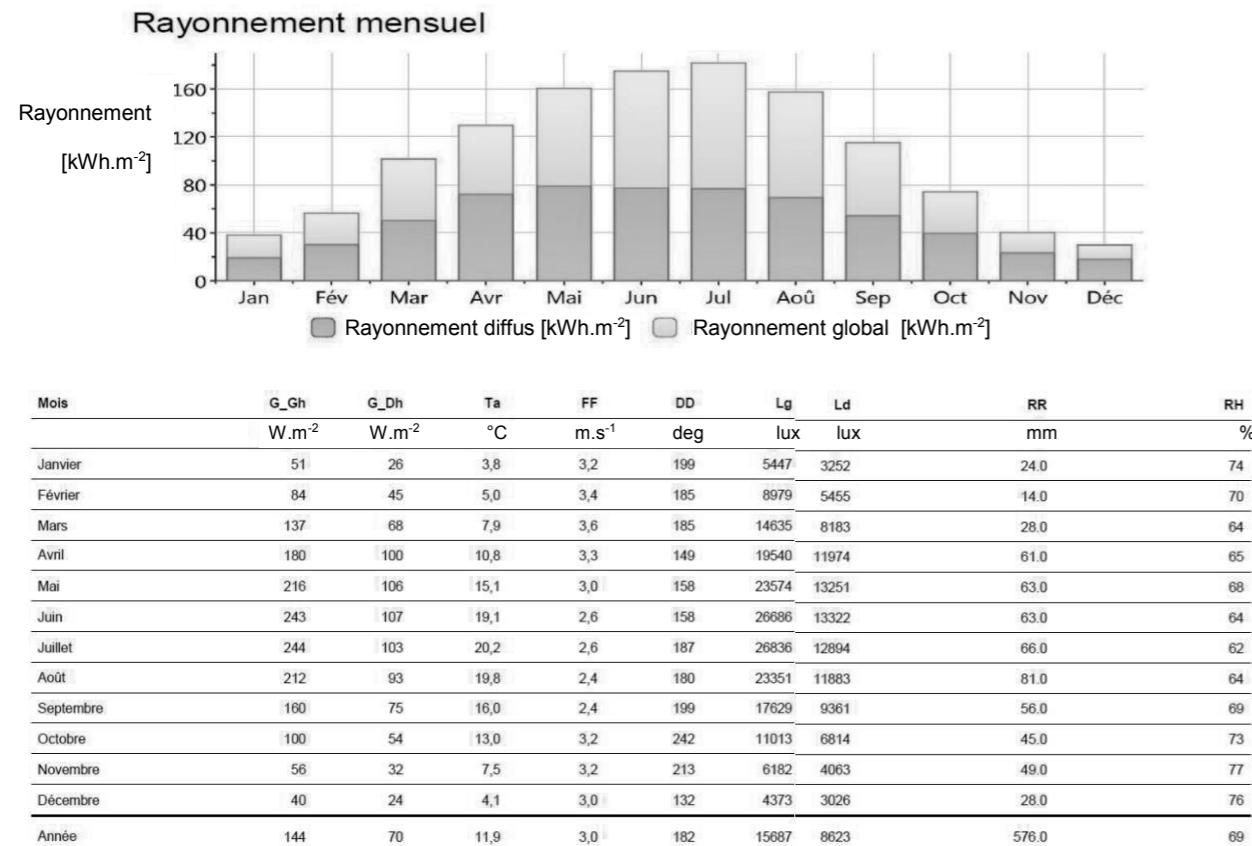
DT09 - Plan de la charpente



DT10 - Sollicitations : POUTRE 76 - HEA 280



## DT11 - Conditions météorologiques retenues.



G\_Gh: Irradiance moy. du ray. global horiz.  
 G\_Dh: Irradiance du rayonnement diffus horizontal  
 Ta: Température de l'air  
 FF: Vitesse du vent  
 DD: Direction du vent  
 Lg: Luminance globale  
 RR: Précipitations  
 RH: Humidité relative

## DT12 - Isolation des parois opaques.

### Constitution des parois

Localisation	Description des complexes isolants
Façades	<p><b>Façade Sud :</b>                      26 cm d'isolant fibre de bois en remplissage des caissons à ossature bois.  <math>\lambda</math> de 0.036 m.W<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>                      exemple : Isonat Plus 55 flex de chez BUITEX                      Résistance thermique / Rth=7.2 m<sup>2</sup>.W<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>                      Ufaçade visé <math>\leq 0.15</math> W.m<sup>-2</sup>.K<sup>-1</sup> y compris ponts thermiques structurels  <i>Nota : Isolant à mettre en œuvre en nez de dalle, entre les fixations des refends et de la résille béton.</i></p>
	<p><b>Autres façades :</b>                      18 cm de laine de verre coté intérieure de la façade, répartis en deux couches d'isolant avec double rails de fixation croisés. <math>\lambda</math> de 0.032 m.W<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>                      exemple : GR32 d'ISOVER                      Résistance thermique / Rth=5.6 m<sup>2</sup>.W<sup>-1</sup>.K<sup>-1</sup>                      Ufaçade <math>\leq 0.20</math> W.m<sup>-2</sup>.K<sup>-1</sup> y compris ponts thermiques structurels  <i>Nota : prévoir le retour d'isolant le long des murs de refends pour réduire les ponts thermiques</i></p>

## DT13 (1/3) - Résultats de la simulation thermique dynamique

### « ESTIMATION DES BESOINS THERMIQUES

Trois simulations thermiques pour le confort d'été ont été réalisées :

- **Simulation B00** : simulation de référence ne prenant pas en compte les stratégies d'économie d'énergie
- **Simulation B01** : simulation avec optimisation grâce à l'ajout de protection solaire et le renforcement de l'isolation sur certaine zone
- **Simulation B02** : il s'agit de la simulation 1 mais en prenant en compte une stratégie de ventilation nocturne : ouverture des fenêtres la nuit dans les zones de bureaux, sur-ventilation dans les autres espaces.

#### Simulation B00 :

Froid Actif		Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembr	Octobre	Novembre	Décembre	Total
B00	Bâtiment complet kWh	24663	22580	25593	26567	23532	24897	14494	11147	28378	29232	28858	24492	284434
	Salle 900 + Salle350 kWh	9966	9345	10439	10292	8890	8312	9123	0	9424	11355	12775	10498	110417

#### Simulation B01 :

Les besoins thermiques obtenus pour la simulation B01 sont les suivants :

Froid Actif		Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembr	Octobre	Novembre	Décembre	Total
B01	Bâtiment complet kWh	1064	1093	1644	2345	3549	9021	5681	4048	4766	3514	1717	1180	39622
	Salle 900 + Salle350 kWh	0	0	0	0	0	1815	2052	0	387	0	0	0	4254

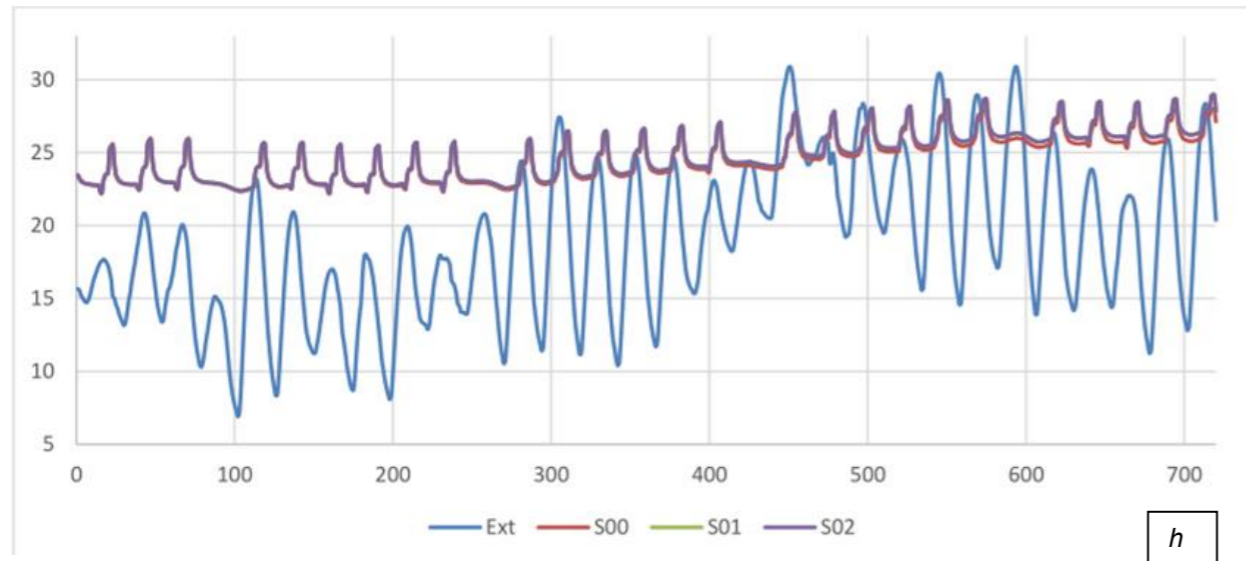
#### Simulation B02 :

Les besoins thermiques obtenus pour la simulation B02 sont les suivants :

Froid Actif		Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Septembr	Octobre	Novembre	Décembre	Total
B02	Bâtiment complet kWh	334	316	403	514	1031	6280	3183	2175	1694	946	400	348	17622
	Salle 900 + Salle350 kWh	0	0	0	0	0	2802	2735	0	96	0	0	0	5633

## DT13 (2/3) - Résultats de la simulation thermique dynamique

Température extérieure, températures dans la salle de spectacle 900 pour les trois scénarii (S00, S01 et S02) au mois de juin (axe des abscisses exprimées en heures)



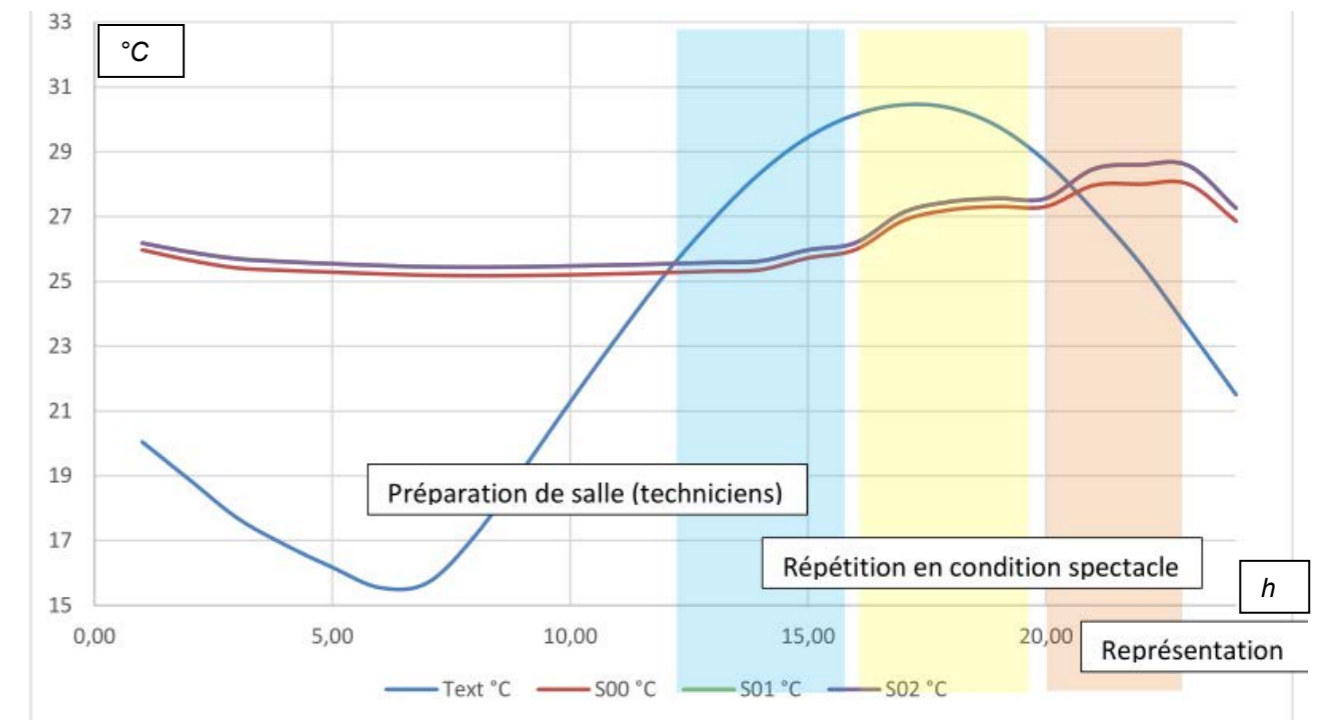
## DT13 (3/3) - Résultats de la simulation thermique dynamique

Nombre d'heure de dépassement de la température intérieure face à la température de consigne en fonction des trois scénarii d'utilisation pour la salle de spectacle 900

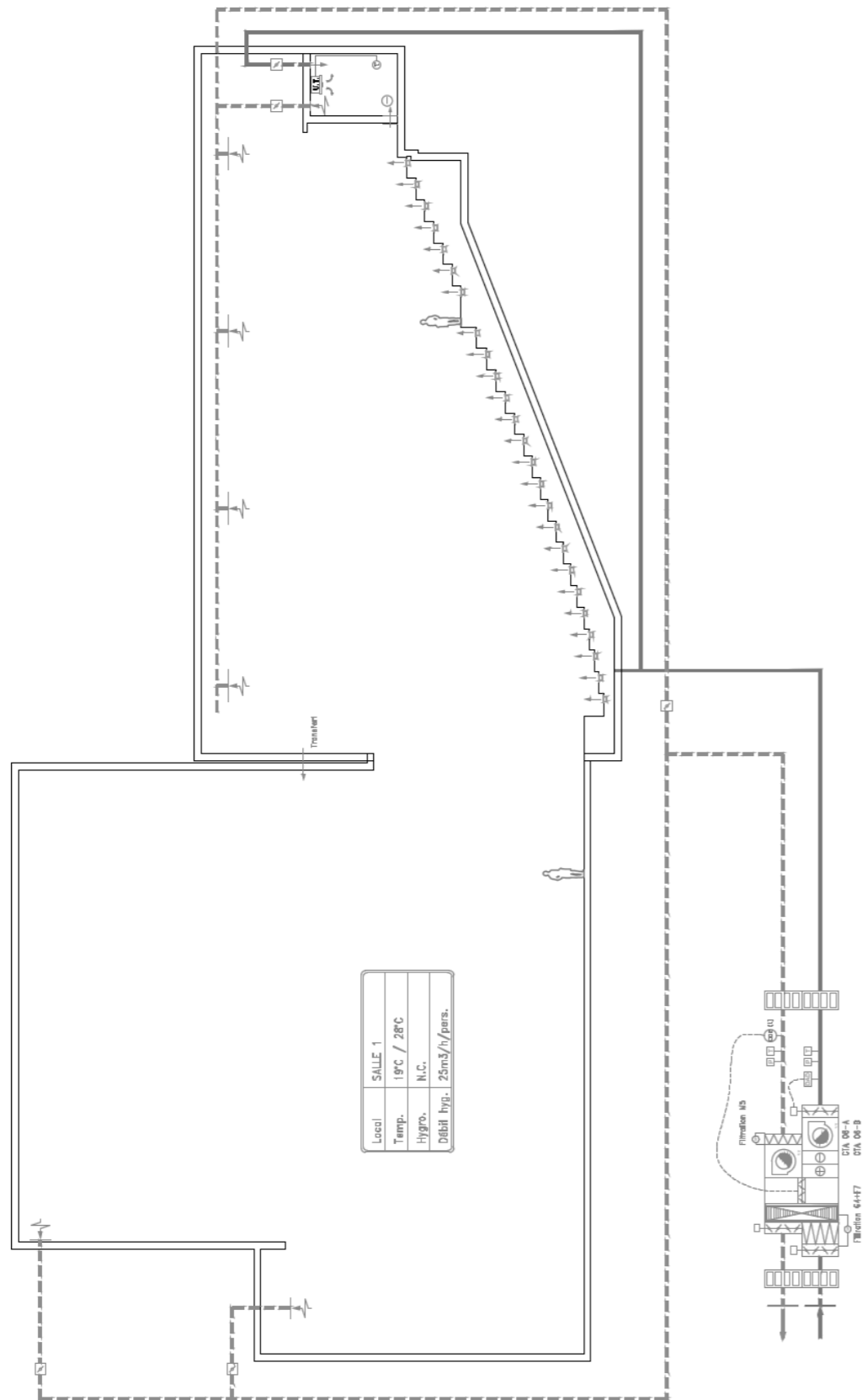
Salle 900

	Nombre d'heure de dépassement total					Nombre d'heure de dépassement en occupation				
	26°C	27°C	28°C	29°C	30°C	26°C	27°C	28°C	29°C	30°C
S00	260	109	14	0	0	226	108	14	0	0
S01	446	143	34	0	0	283	139	34	0	0
S02	439	144	31	0	0	282	140	31	0	0

Simulation de la température intérieure de la salle de spectacle 900 en envisageant une occupation en soirée pour un spectacle (Cas le plus défavorable envisagé au mois de juin, scénario S01 et S02 confondus)



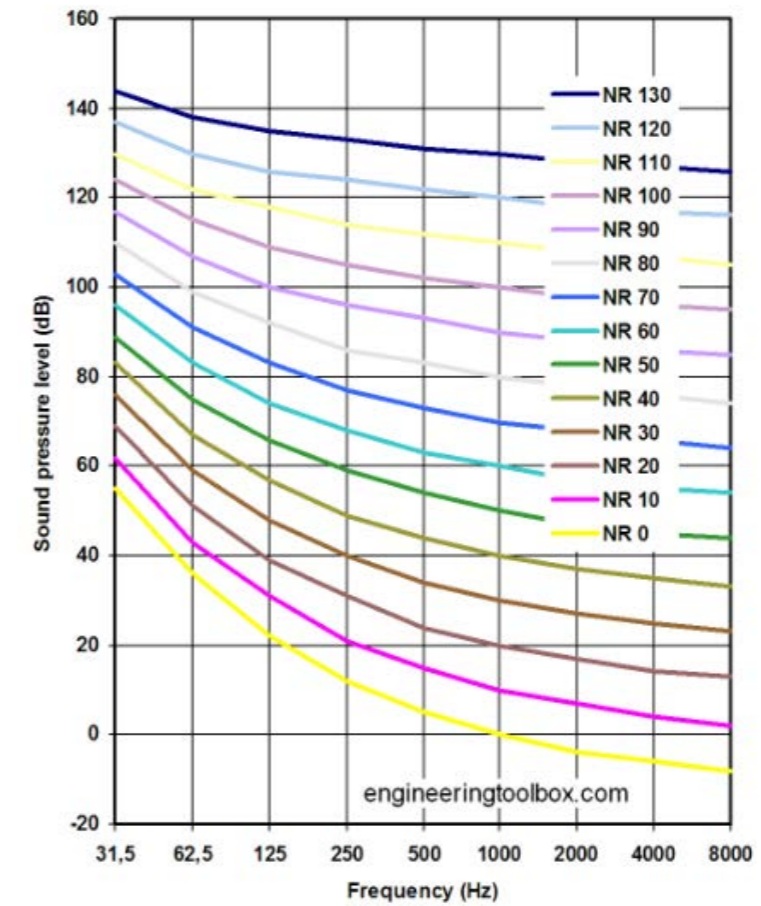
### DT14 - Schéma de principe CTA



### DT15 - Courbes NR (Noise Rating)

Noise Rating - NR - Curve	Maximum Sound Pressure Level (dB)								
	Octave band mid-frequency (Hz)								
	31.5	62.5	125	250	500	1000	2000	4000	8000
NR 0	55	36	22	12	5	0	-4	-6	-8
NR 10	62	43	31	21	15	10	7	4	2
NR 20	69	51	39	31	24	20	17	14	13
NR 30	76	59	48	40	34	30	27	25	23
NR 40	83	67	57	49	44	40	37	35	33
NR 50	89	75	66	59	54	50	47	45	44
NR 60	96	83	74	68	63	60	57	55	54
NR 70	103	91	83	77	73	70	68	66	64
NR 80	110	99	92	86	83	80	78	76	74
NR 90	117	107	100	96	93	90	88	86	85
NR 100	124	115	109	105	102	100	98	96	95
NR 110	130	122	118	114	112	110	108	107	105
NR 120	137	130	126	124	122	120	118	117	116
NR 130	144	138	135	133	131	130	128	127	126

- [Noise Rating - NR - Online Calculator](#)



# SILENCIEUX RECTANGULAIRES

1.2A

SONIE R-BS / R-BD / R-BL / R-BP / R-BME  
R-BS+ / R-BD+ / R-BP+ / R-BME+

ACOUSTIQUE

Constitués d'un caisson rectangulaire et de baffles acoustiques, les pièges à son rectangulaires sont proposés en standard en quatre épaisseurs de tôle afin de s'adapter aux contraintes dimensionnelles et aux caractéristiques spécifiques d'utilisation.

La configuration et le type de baffles installés dans le silencieux sont fonction des performances acoustiques recherchées et de l'application.



Le silencieux peut être équipé de :

	Version classique	Version Haute Performance
Baffles standards	SONIE R-BS	SONIE R-BS+
Baffles désenfumage 400°C/2h	SONIE R-BD	SONIE R-BD+
Baffles salles blanches	SONIE R-BL	
Baffles haute vitesse	SONIE R-BP	SONIE R-BP+
Baffles membrane externe	SONIE R-BME	SONIE R-BME+
Baffles membrane interne	SONIE R-BMI	SONIE R-BMI+

Les caractéristiques calculées par le logiciel du fournisseur sont les suivantes :

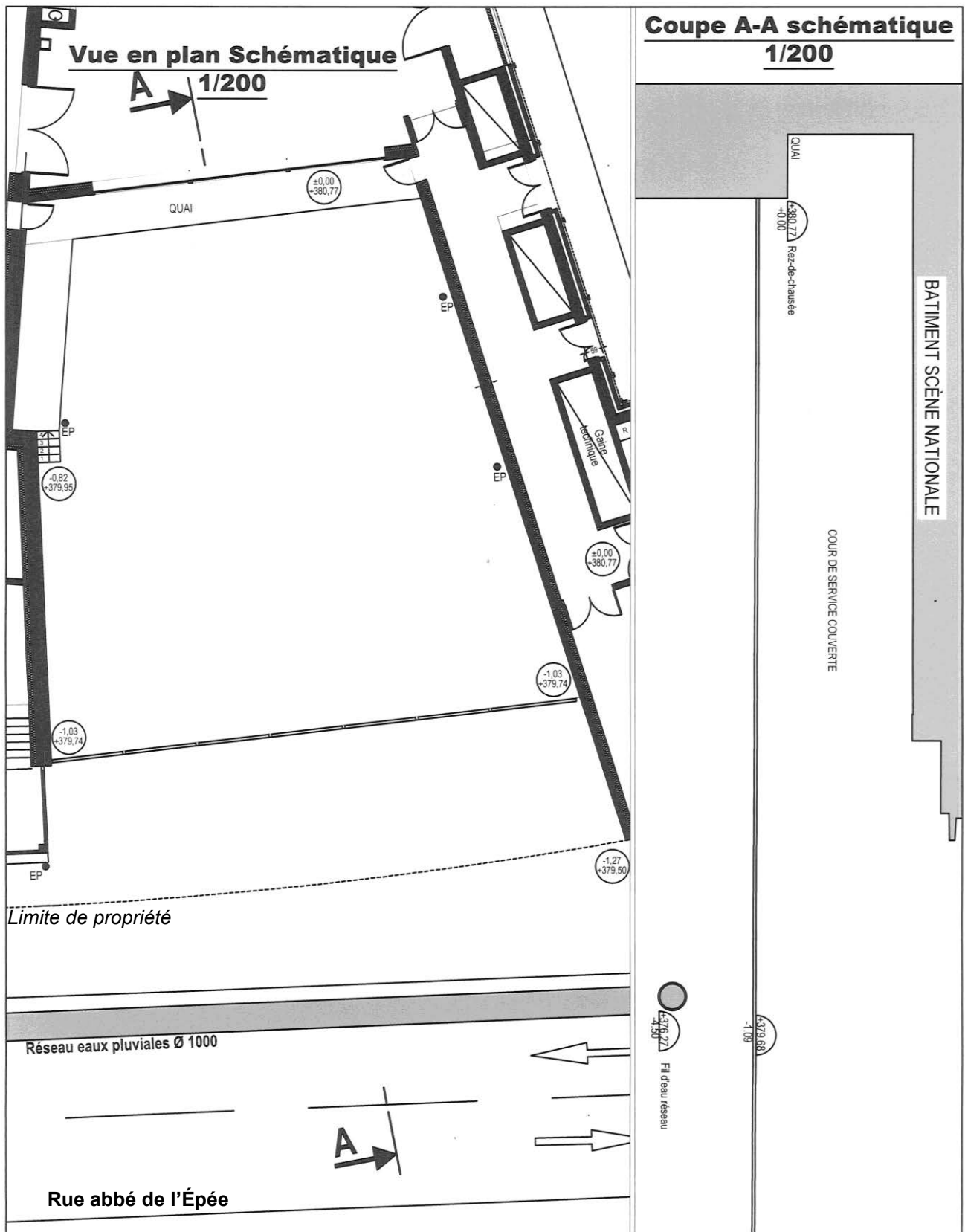
f	63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1 kHz	2 kHz	4 kHz	8 kHz
Atténuation	6	17	44	50	55	53	39	32
Régénération	52.5	47	44.5	43.5	42.5	41.5	37.5	32

NB : La régénération acoustique doit être à minima 10 dB inférieure à la pression sonore résiduelle sans silencieux à baffles. Dans le cas contraire, il convient d'augmenter la taille du silencieux et celui de la gaine de raccordement.



**NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE**

# DR1 - Étude de positionnement du bassin







**NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE**

# DR2 - Diagramme de l'air humide

