

SESSION 2021

**CAPET
CONCOURS EXTERNE
ET CAFEP CORRESPONDANT**

Section : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR

Option : 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 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

SOMMAIRE

	Page
Présentation :	
Information aux candidats et sommaire du sujet	02
Présentation du support d'études	03
Questionnaire :	
Étude 1 : Choix architecturaux	04
Étude 2 : Choix constructifs liés à l'étude thermique	04
2A : Réglementation thermique	04
2B : Étude thermique d'hiver de la double peau	04
2C : Étude thermique d'été des magasins	05
Étude 3 : Étude acoustique de la salle de conférence	07
Étude 4 : Étude de l'escalier de secours	07
4A : Analyse des paramètres du modèle mécanique	07
4B : Vérification mécanique du profilé métallique par simulation	08
Étude 5 : Étude mécanique du porte-à-faux sud	08
5A : Analyse mécanique fonctionnelle et structurelle du porte à faux	09
5B : Étude du transfert du moment de torsion de P1 à P2 et P3	09
5C : Étude mécanique de la poutre P2	10
Étude 6 : Choix eco-conçu du matériau de la peau de coffrage du double voile	12
Documents techniques :	
DT1 : Vues du bâtiment	13
DT2 : Extrait de la notice architecturale et structurelle	16
DT3 : Documentations thermiques	18
DT4 : Documentations acoustiques	20
DT5 : Escalier de secours	22
DT6 : Étude mécanique du porte à faux sud	24
DT7 : Peau de coffrage	27
Annexes :	
A1 : Méthode des déplacements et intégrales de Mohr	28
A2 : Matériaux et organigramme de calcul béton armé	29
Documents réponses :	
DR 1 : Étude du Bbio	30
DR 2 : Étude acoustique	31
DR 3 : Étude du porte à faux	32

Nota : Les différentes études de ce questionnaire sont totalement indépendantes les unes des autres et peuvent être traitées dans un ordre quelconque choisi par le(la) candidat(e).

Présentation du support d'études

Les archives départementales de l'Isère

Le projet concerne la construction du nouveau bâtiment destiné à la conservation et la mise à disposition des archives départementales de l'Isère.

Ce projet est porté par le Département de l'Isère.

Ce bâtiment en R+6 sur rez-de-chaussée aura une surface utile de 15 216 m².



Le rez-de-chaussée est constitué des locaux d'accueil du public et des locaux de préparation des archives en vue de leur conservation. Ces locaux sont situés de part et d'autre d'une rue intérieure. On y retrouve aussi une salle de conférence, une salle d'exposition temporaire et 2 logements de fonction.

Le 1^{er} étage comporte les bureaux administratifs.

Les étages 2 à 6 comportent les magasins de stockage. C'est-à-dire les locaux de rangements des archives. Le bâtiment comprend 11 magasins de 200 m² chacun. En son centre, et sur toute la hauteur du bâtiment on retrouve un atrium qui permet d'apporter la luminosité et de faire le lien entre les étages et les différentes fonctions.

Ce bâtiment, qui renfermera dans ses étages supérieurs des documents d'archives, pour certains très anciens, doit répondre à de fortes contraintes tant thermiques que structurelles.

Les parties qui vont suivre vont donc porter sur la résolution des problématiques spécifiques liées à l'usage de ce bâtiment.

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 externe du CAPET de l'enseignement public :**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EDE	1411E	102	7048

► **Concours externe du CAFEP/CAPET de l'enseignement privé :**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EDF	1411E	102	7048

Étude 1 : CHOIX ARCHITECTURAUX**30 mn**

Le choix de la forme, des coloris et des matériaux résulte, entre autres, d'une recherche de l'architecte pour une bonne intégration de ce bâtiment dans son environnement et de l'utilisation de ressources proches. Ce bâtiment étant sur le campus de saint Martin d'Hères, il doit aussi répondre à la charte VPAUP (valorisation du patrimoine architectural) du campus. A cela s'ajoute évidemment une recherche d'aménagement lié à sa fonctionnalité.

Documents à consulter : documents techniques DT 1 et DT 2

Question 01 : en vous référant à la notice architecturale

- relever les 3 axes d'intégration (cercles du territoire) dans le milieu selon lesquels l'architecte a souhaité concevoir le bâtiment. A l'aide des plans, des façades, des représentations 3D et des photos du bâtiment, expliquer, en 5 lignes maximum, les choix architecturaux qui permettent de répondre à ces axes ;
- citer les 3 principaux matériaux utilisés pour la réalisation du bâtiment et expliquer, en 3 lignes maximum, pourquoi l'architecte a fait ces choix ;
- expliquer, en 3 lignes maximum le choix des 4 blocs et des failles pour les étages des magasins ;
- expliquer en 6 lignes maximum en quoi l'architecte a répondu aux différents points de la charte VPAUP (valorisation du patrimoine architectural urbain paysager) du campus .

Étude 2 : CHOIX CONSTRUCTIFS LIÉS A L'ÉTUDE THERMIQUE**60 mn****2A/ Réglementation thermique****voir DT 1**

Contexte : pour concevoir ce bâtiment l'architecte doit savoir si celui-ci doit être conforme à la réglementation thermique 2012. Si c'est le cas l'une des exigences de performances à vérifier pour être conforme à la RT 2012 est que le Besoin Bioclimatique Bbio doit être inférieur au Bbio max.

Question 02 : lister, en le justifiant, les étages qui doivent répondre à la RT 2012.

Question 03 : entourer sur le document réponse DR 1 les flux d'énergie qui rentrent en compte dans le calcul du Bbio.

2B/ Étude thermique d'hiver de la double peau**voir DT 3**

Étude théorique : nous nous limiterons à l'étude en régime permanent d'un mur monocouche d'épaisseur L et à une variation de flux selon l'axe horizontal.

Question 04 : simplifier les expressions analytiques du flux de chaleur (1) et de l'équation de la chaleur (2) du DT 3. Démontrer l'expression du flux φ : $\varphi = (T_i - T_e)/R$ avec T_i : température de la face intérieure de la couche et T_e : température de la face extérieure de la couche.

Pour la suite des questions, la continuité du flux permet de généraliser la loi aux parois multicouches :

$$\varphi = (T_i - T_1)/R_{int} = (T_1 - T_2)/R_{12} = (T_2 - T_3)/R_{23} = (T_3 - T_4)/R_{34} = \dots = (T_n - T_e)/R_{ext} = (T_i - T_e)/\Sigma R$$

Contexte : la problématique thermique des magasins réside, entre autres, dans les contraintes de températures et de fluctuations de celles-ci comme indiqué dans le cahier des charges.

Une paroi « double peau » a été choisie pour les étages des magasins. « La double peau sert de régulateur climatique de température et d'hygrométrie en assurant une stabilité de de température et d'hygrométrie en toute saison et, même en cas de panne technique, elle garantit une dérive extrêmement lente des conditions de température et d'humidité ».

Pour des raisons économiques le bureau d'étude technique a fait le choix d'extraire l'air repris des magasins directement dans l'espace technique de la double peau via des grilles dans les murs intérieurs en béton armé puis de le récupérer via des gaines à l'extrémité du bâtiment.

Objectif : savoir si ce choix technique influence les déperditions thermiques à travers les parois.

Cette étude consiste à déterminer le flux surfacique thermique à travers la double peau sans l'extraction de l'air des magasins dans l'espace technique puis avec l'extraction, de les comparer et de conclure sur la pertinence de ce choix.

Hypothèses : l'étude se fera en négligeant les flux surfaciques par le plafond et la dalle de la double peau, en étudiant un régime permanent avec les conditions de base hivernales et pour la température intérieure cible.

Étude pratique sans ventilation :

Question 05 : déterminer la valeur de la résistance thermique pour chacun des 2 murs constituant la double peau en $\text{m}^2 \cdot \text{K} \cdot \text{W}^{-1}$. En déduire les équations de la déperdition thermique surfacique ϕ en $\text{W} \cdot \text{m}^{-2}$ des 2 murs en fonction de la température de l'espace technique.

Question 06 : en réalisant l'équilibre des flux pour l'espace technique, déterminer la température de celui-ci et en déduire la déperdition thermique surfacique de la double peau.

Étude pratique avec la ventilation :

Question 07 : déterminer l'équation de la puissance thermique transmise par le flux d'air à la double peau en fonction de la température de l'espace technique.

Question 08 : en réalisant le nouvel équilibre des flux pour l'espace technique, déterminer la température de celui-ci et en déduire la déperdition thermique surfacique de la double peau.

Question 09 : conclure quant à l'impact du choix technique du bureau d'étude sur les déperditions thermiques des magasins et expliquer en quoi les résistances superficielles de l'espace technique sont différentes sans et avec la ventilation de cet espace.

2C/ Étude thermique d'été des magasins

Objectif : en été, savoir si l'inertie de la double peau est suffisante ou si un système de refroidissement doit être installé.

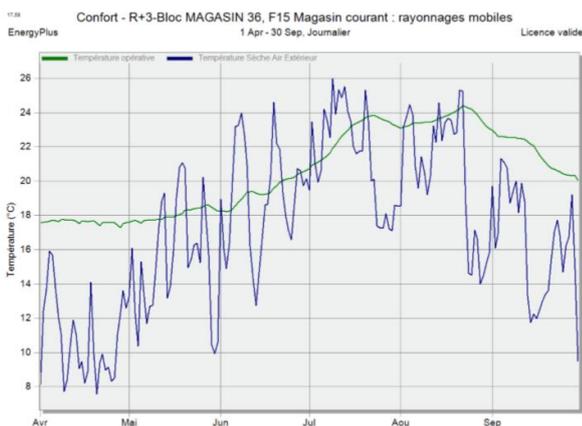


Fig. 13. Courbe Température sur période estivale - Magasin 3-1b

Une simulation thermique dynamique (STD), représentée ci-contre et ci-dessous, a été réalisée à cet effet sans système de refroidissement.

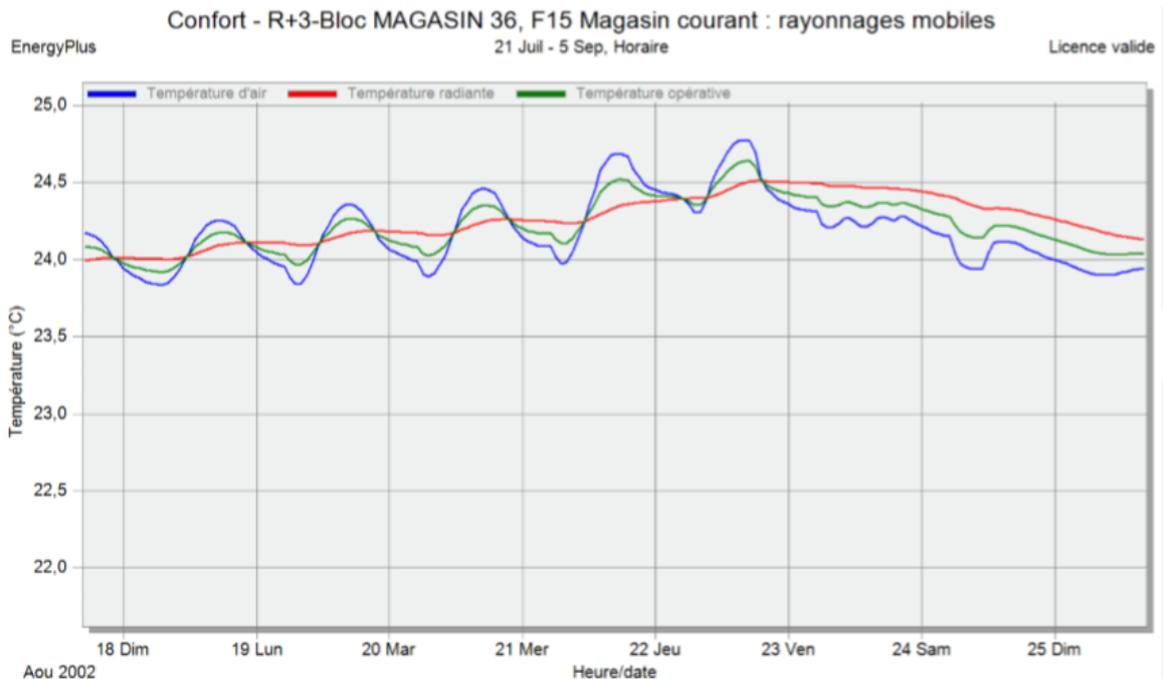
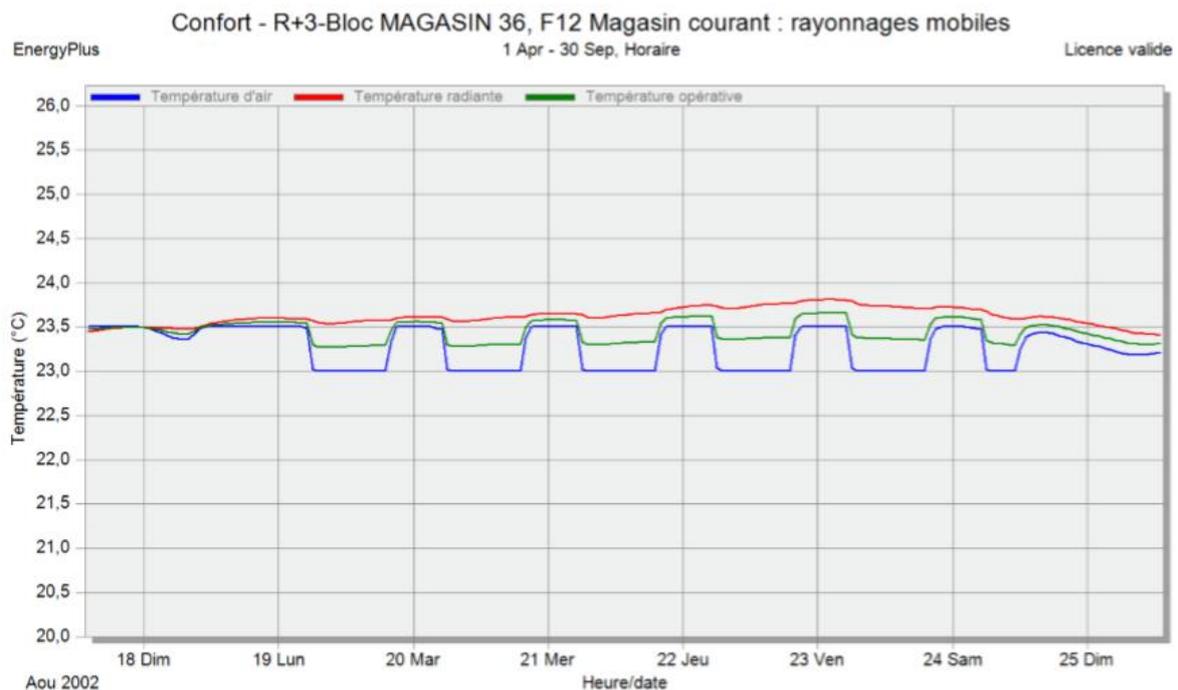


Fig. 14. Courbe Température sur période estivale – Zoom du 18 au 24 août

Question 10 : donner les définitions des différentes températures (air radiante et opérative) indiquées sur la STD de la figure 14.

Question 11 : à partir de l'analyse de la figure 14, conclure sur la pertinence d'un système de refroidissement en l'été dans les magasins et sur le respect de la contrainte de fluctuation. Rédiger une argumentation de 3 lignes maximum afin de convaincre le maître d'ouvrage.

Question 12 : une nouvelle simulation a été réalisée. Déterminer, en les justifiant, les choix techniques qui ont été modifiés par rapport aux simulations précédentes. Vérifier si cette nouvelle situation répond au cahier des charges.



Étude 3 : ÉTUDE ACOUSTIQUE DE LA SALLE DE CONFÉRENCE 30 mn

Objectif : réaliser le traitement acoustique de la salle de conférence.

Documents à consulter : documents techniques DT 1 et DT 4, document réponse DR2

Question 13 : expliquer en 3 lignes maximums, l'impact, pour les auditeurs, d'un temps de réverbération non optimum dans la salle de conférence.

Question 14 : après comparaison du Tr calculé avec le Tr optimal par bande de fréquence, déterminer si une correction acoustique de la salle est nécessaire.

Si une correction est nécessaire, sélectionner en le justifiant le matériau optimum pour le traitement de la salle de conférence.

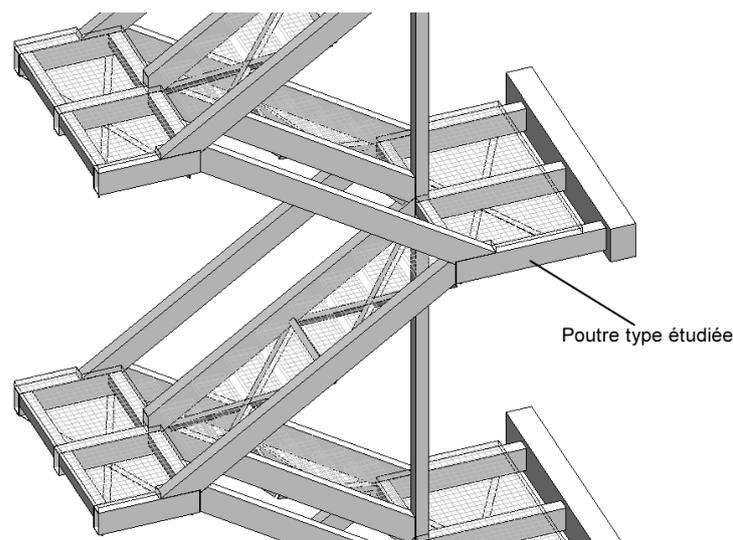
Question 15 : déterminer la surface nécessaire de matériaux acoustiques pour obtenir le Tr optimum (à +/- 5%) pour la bande de fréquence 2000Hz. Vérifier les valeurs de Tr ainsi obtenues pour les bandes de fréquences 500 et 1000 Hz et les comparer aux Tr optimums. Représenter l'implantation du matériau sur les différentes coupes de la salle de conférence sur le DR 2 en justifiant vos choix.

Étude 4 – ÉTUDE DE L'ESCALIER DE SECOURS 20 mn

Objectif : vérifier le comportement mécanique des poutres de structure de l'escalier de secours.

Contexte : pour assurer une évacuation et une intervention rapide des pompiers en cas de sinistre, il est choisi de réaliser un escalier extérieur au droit de la faille en façade ouest du bâtiment. Cet escalier est supporté et relié à la structure du bâtiment par une structure métallique composée d'un ensemble de profilés tubulaires.

L'étude se limite au profilé rectangulaire creux de section 160x90x5 mm reliant l'escalier à la structure du bâtiment par une liaison encastrement par boulonnage.



4A/ Analyse des paramètres du modèle mécanique

voir DT 5

Analyse et justification des paramètres internes du modèle.

Question 16 : définir ce que représente chacun des paramètres internes et préciser pour chacun d'eux l'influence qu'ils peuvent avoir sur le comportement de la poutre en terme de déformation et de contrainte normale.

Analyse et justification des paramètres externes du modèle.

Scénarios de simulation : les cas de chargement à l'ELS et à l'ELU sont ajoutés au modèle afin de simuler le comportement mécanique de la poutre modélisée dans chacune de ces situations.

Question 17 : définir ce que représente en terme de scénario, l'ELS et l'ELU dans ce cas d'étude.

4B/ Vérification mécanique du profilé métallique par simulation

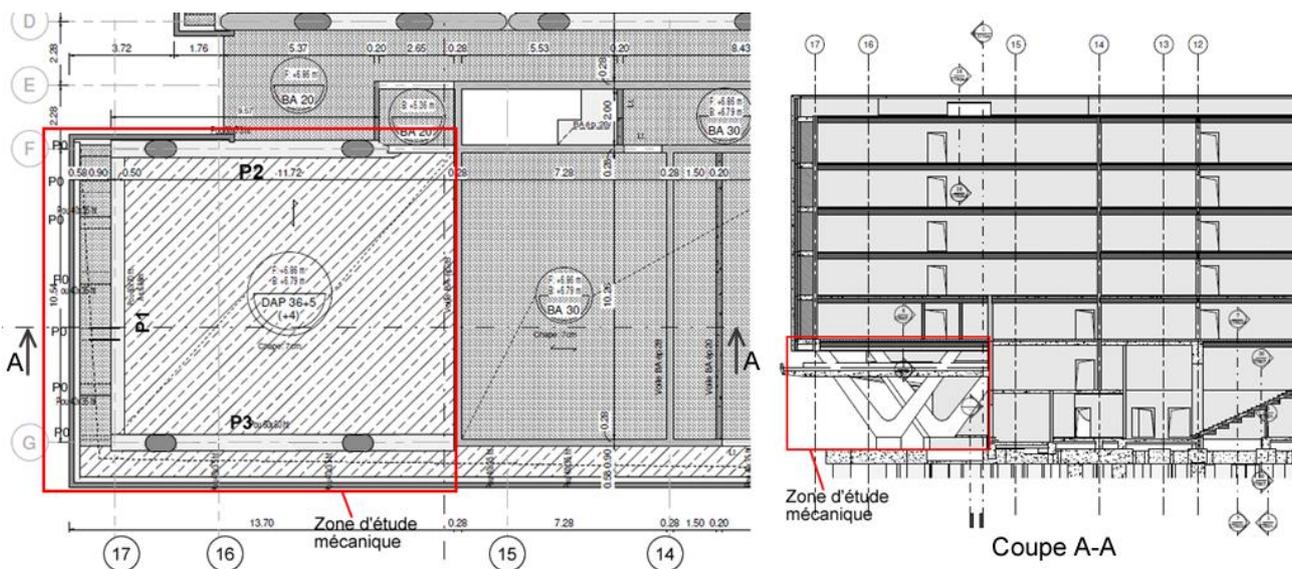
Question 18 : analyser chaque schéma de résultat de simulation par rapport aux exigences mécaniques et économiques, conclure.

L'analyse doit être argumentée et doit proposer une remédiation en cas d'insatisfaction, en précisant les paramètres qu'il serait le plus judicieux d'ajuster.

Étude 5 - ÉTUDE MECANIQUE DU PORTE A FAUX SUD

80 mn

Objectifs : analyser et optimiser mécaniquement le porte à faux sud (plancher R+2), et dimensionner en flexion les armatures longitudinales de la poutre support P2 en béton armé.



Contexte : les choix architecturaux conduisent à placer en porte à faux une partie du plancher du premier niveau des salles d'archive (R+2 du bâtiment). La réponse aux exigences thermiques conduit à concevoir une double paroi. Ces deux aspects induisent de fortes contraintes mécaniques sur la structure à la fois pour supporter les éléments en porte à faux et pour maintenir cette double paroi. Le bâtiment comporte plusieurs portes à faux. Cette étude mécanique porte sur le porte à faux sud du bâtiment.

Cette étude est partielle : elle vise le dimensionnement des aciers longitudinaux de la poutre P2 à l'ELU afin de satisfaire les exigences relatives aux contraintes normales induites sur cette poutre. L'action du vent n'est ainsi pas traitée dans l'étude.

5A/ Analyse mécanique fonctionnelle et structurale du porte à faux sud

Voir DT6 et DR3.

En vue de l'étude mécanique de la poutre P2, il est nécessaire dans un premier temps, d'analyser l'origine des charges qui s'y appliquent. Le document DR3 s'appuie sur une nomenclature des poutres composant la structure du porte à faux, extraite de la maquette IFC du projet.

Hypothèse : les poutres P01 A à P01G ne reprennent que la charge du voile double peau de leur niveau. Le voile double peau peut être mécaniquement modélisé par des poutres discontinues en appui sur les poutres P01.

Analyse fonctionnelle et structurale qualitative

Question 19 : analyser la fonction mécanique de chaque élément de structure du porte à faux sud, en complétant le DR3 (colonne C7).

Analyse quantitative des charges (à l'ELS)

Une nomenclature des matériaux du voile double peau est extraite de la maquette IFC pour déterminer la valeur des charges qui s'appliquent sur les poutres du porte à faux P01A à P01G.

Question 20 : compléter sur le DR3 (colonne C10) l'analyse des charges afin de déterminer les charges produites par le mur extérieur de la paroi double peau sur l'extrémité des poutres P01.

5B/ Etude du transfert du moment de torsion de la poutre P1 aux poutres P2 et P3

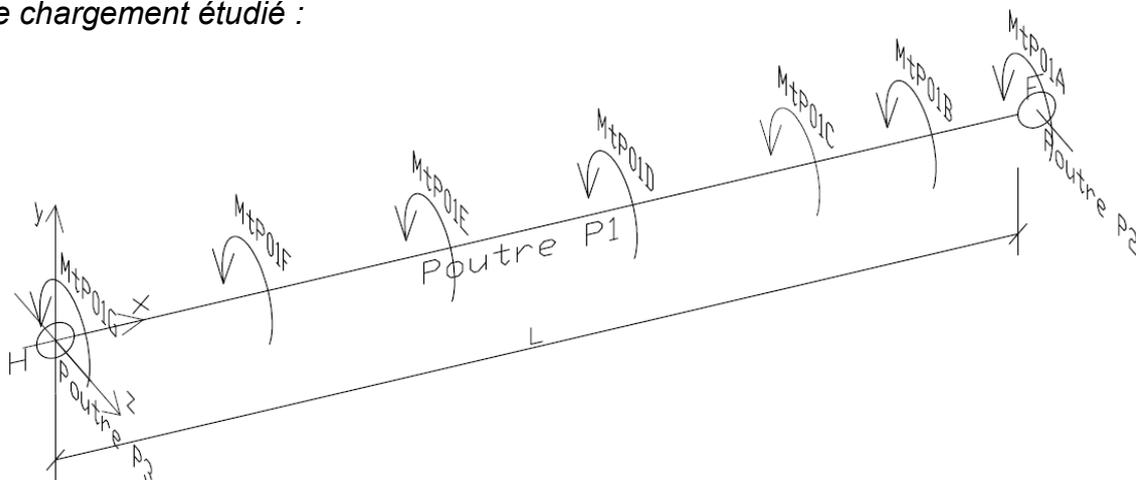
Voir DT6, A1 et DR3

Hypothèses : liaison de la poutre 1 avec les poutres 2 et 3: seuls les forces et les moments de torsion de la poutre 1 sont transmis aux poutres 2 et 3. L'étude est conduite sous chargement non pondéré (l'ELS) pour chaque type d'effort considéré séparément.

Détermination des moments transmis.

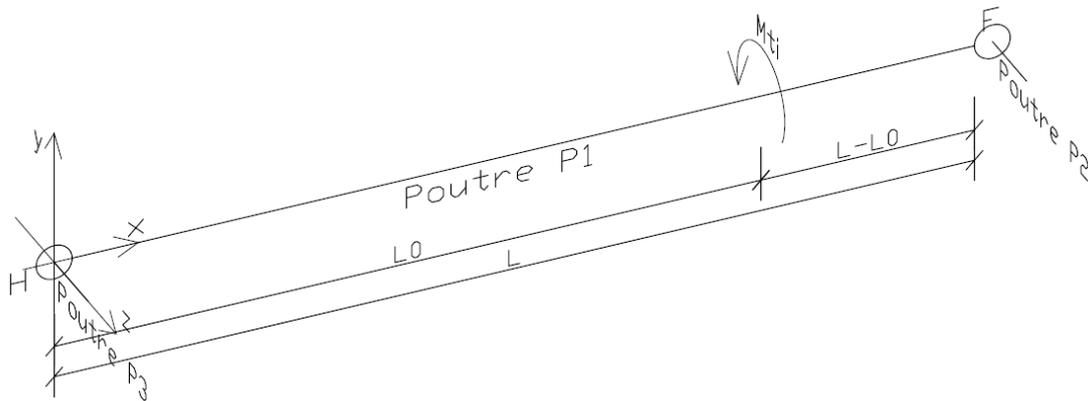
Le chargement des poutres P01 génère des moments de torsion sur la poutre P1. La poutre P1 transmet ces moments de torsion par ces liaisons d'extrémité en F et H. L'étude de cette transmission nécessite de déterminer les moments de torsion en F et H.

Cas de chargement étudié :



Compte tenu du nombre important de poutres de type P01 et des moments de torsion que cela induit sur la poutre P1, cette étude est décomposée pour être conduite en deux temps. Dans un premier temps un modèle de calcul littéral est établi afin de permettre

d'exprimer les moments de torsion aux appuis en fonction d'un seul moment de torsion appliqué en un point de la poutre.



Ce modèle peut être ensuite utilisé pour calculer par superposition, les moments de torsion aux liaisons F et H de la poutre P1 en fonction de l'ensemble des moments de torsion générés sur P1 par les poutres de type P01.

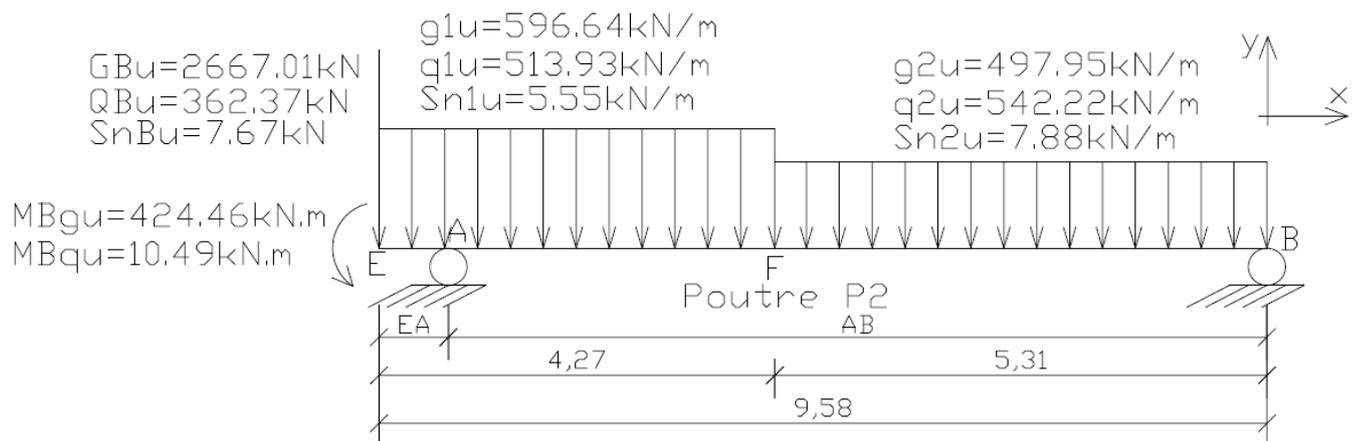
Question 21 : en utilisant l'hypothèse que le déplacement en torsion au nœud F est nul, mettre en œuvre cette méthode afin de déterminer le torseur d'effort en F et en H sous le cas de chargement étudié. Etablir la synthèse de vos résultats dans le DR3 (colonne C11 à C14).

Remarque : il n'est pas demandé de faire la démonstration de la méthode des déplacements, mais d'en faire usage pour exprimer les moments de torsion aux appuis, en s'aidant des intégrales de Mohr ou en exprimant et calculant directement les intégrales.

5C/ Etude mécanique de la poutre P2 **voir DT6 et A2**

Hypothèse : étude à l'ELU

Pour la suite de l'étude, les valeurs des charges suivantes, pondérées à l'ELU sont retenues:



Modélisation mécanique de la poutre P2

En vue du dimensionnement des sections d'aciers longitudinaux :

Question 22 : définir et justifier les différents cas de chargement à prendre en considération pour cette étude en flexion. Les représenter par des schémas mécaniques.

Analyse des effets de la flexion en travée de la poutre P2

Question 23 : analyser qualitativement l'effet mécanique produit par le porte à faux EA sur la travée AB et l'appui A de la poutre P2. En déduire une solution permettant d'optimiser ces effets. Préciser et justifier le ou les cas de chargement à prendre en considération.

Optimisation mécanique de la position de l'appui A

Il est recherché une optimisation de cet effet mécanique. Dans ce cadre, l'architecte accepte le déplacement de l'appui A, mais demande de préserver la position de l'appui B. Pour cela : il est nécessaire de déterminer la distance EA optimale.

Hypothèse : l'abscisse du moment fléchissant maximum en travée AB se situe sur le tronçon FB.

Question 24 : définir une relation, désignée (1) permettant d'exprimer cette condition optimale. Dans cette relation (1), vous ferez apparaître l'expression du moment fléchissant en A en fonction de la distance EA et du moment fléchissant maximum en travée AB, $M_{f_{max}}$.

Remarques : $M_{f_{max}}$ doit être exprimé en fonction de son abscisse X_{max} et de la réaction d'appui en B : R_B .

L'équation obtenue n'est pas à développer ni à résoudre manuellement : un logiciel comportant un solveur permet d'effectuer cette tâche. Cette résolution indique la distance $EA=1,51m$.

Gestion BIM (Building Information Modeling)

Question 25 : dans le cadre d'une démarche BIM, préciser comment gérer le résultat de cette optimisation.

Dimensionnement de la section des aciers longitudinaux de la poutre P2 à l'ELU

Hypothèse : le moment fléchissant maximum en travée AB a été calculé. La valeur retenue vaut : $M_u=6293,33 \text{ kN}\cdot\text{m}$

Question 26 : dimensionner les sections d'aciers longitudinaux pour satisfaire les exigences sur le comportement mécanique du béton armé à l'ELU. Proposer un schéma d'armature de principe faisant apparaître les sections d'acier déterminées.

Etude de l'équilibre statique de la section de béton armé la plus sollicitée en flexion

Question 27 : en établissant les conditions d'équilibre de la section de poutre étudiée, justifier les expressions définies dans l'organigramme de Z_u , α , μ , et préciser ce que représente Z_u .

Objectif : choisir le matériau des matrices de la peau de coffrage des murs de l'enveloppe du bâtiment, dans un cadre de développement durable.



Document à consulter : document technique DT 7

L'apparence de la face extérieure de l'enveloppe double peau du bâtiment comporte des reliefs colorés. Ces reliefs sont réalisés par une matrice plaquée sur les panneaux de coffrage.

(Ci-dessus : prototype des reliefs et des couleurs de l'enveloppe double peau du bâtiment)

Le choix du matériau de ces matrices doit se faire sur sa capacité à réaliser ces reliefs avec la qualité requise dans un cadre de développement durable. Pour ce faire l'entreprise souhaite limiter son empreinte environnementale tout en restant compatible avec les contraintes économiques du maître d'ouvrage. Ainsi l'entreprise souhaite limiter l'impact carbone et le recours à l'énergie grise du matériau servant de matrice.

Etude préliminaire : mise en place des éléments nécessaires à l'étude par la méthode de l'ACV.

Question 28 :

- représenter le schéma des différentes étapes du cycle de vie des matériaux.
- définir ce que représente l'énergie grise dans le cycle de vie.
- définir les limites de cette étude par rapport aux critères d'impacts retenus.
- définir l'Unité Fonctionnelle (UF) en justifiant les grandeurs choisies pour l'élaborer.

Rappel : l'Unité Fonctionnelle (UF) est une unité de référence à construire afin de pouvoir comparer les matériaux à fonction équivalente pendant une durée de vie prédéterminée (appelée aussi Durée de Vie Typique – DVT).

Conduite de l'étude.

Question 29 : déterminer les valeurs d'impact environnemental et économique pour chaque matériau par rapport à l'UF, puis choisir le matériau de matrice de coffrage au regard des résultats précédents et conformément au cahier des charges.

Document technique DT 1 : vues du bâtiment

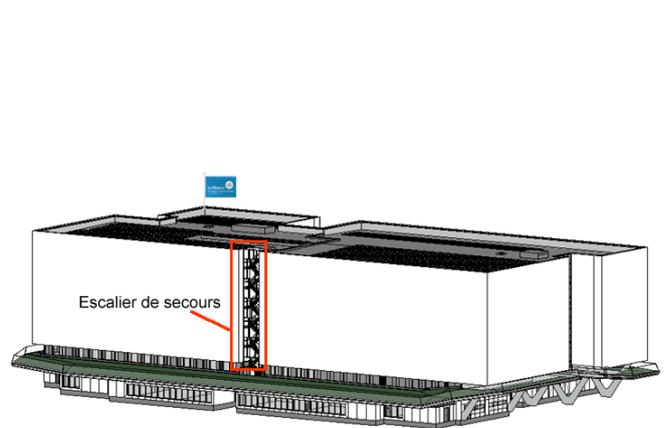
Pignon sud :



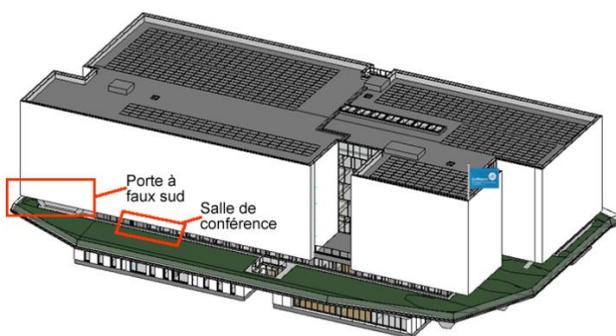
Façade est et Pignon sud :



Perspective façade ouest et pignon sud :



Perspective façade Est et pignon nord :

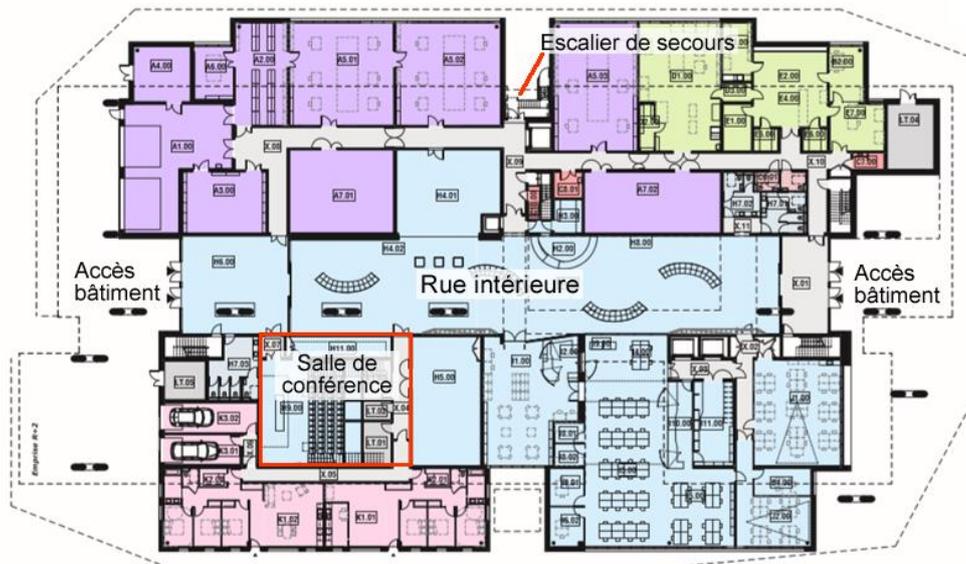


Perspective pignon nord et façade est :

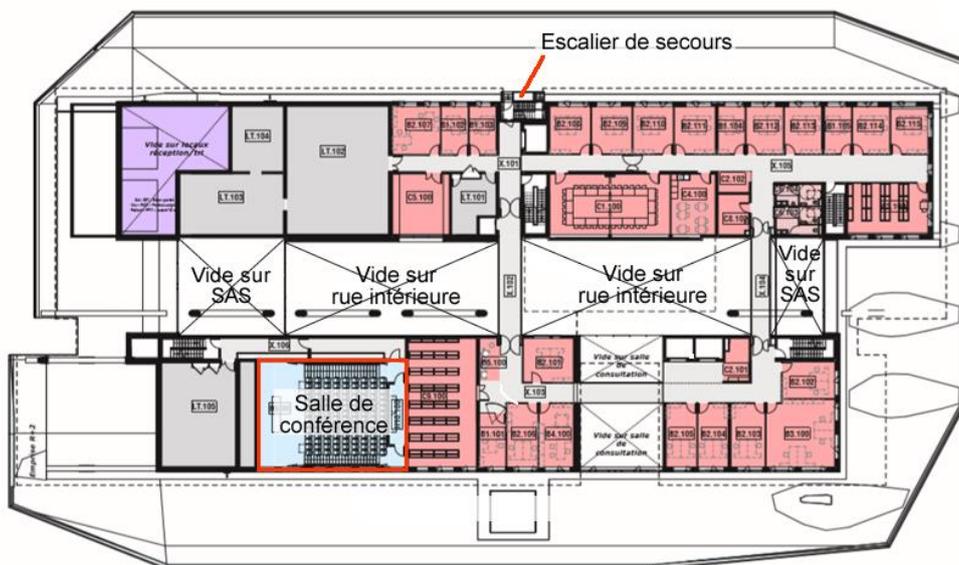


DT 1 2/3

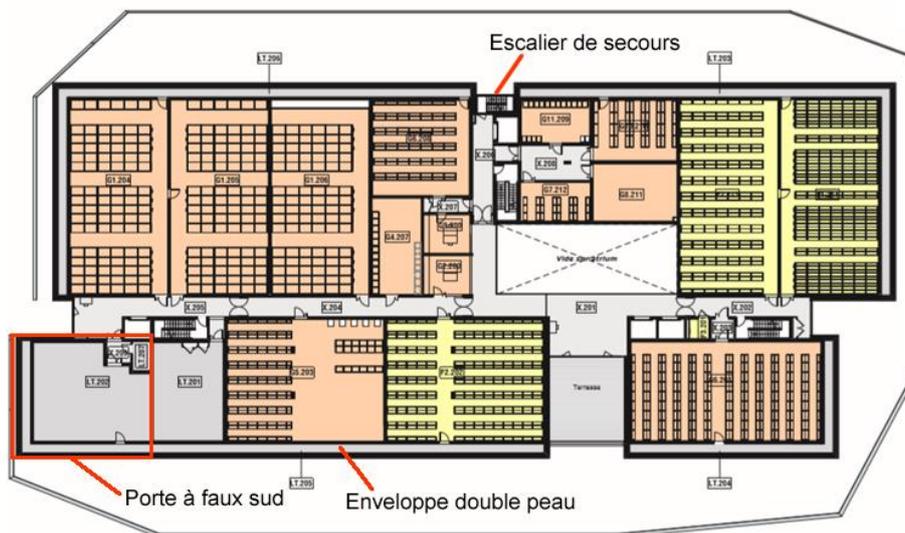
PLAN RDC :



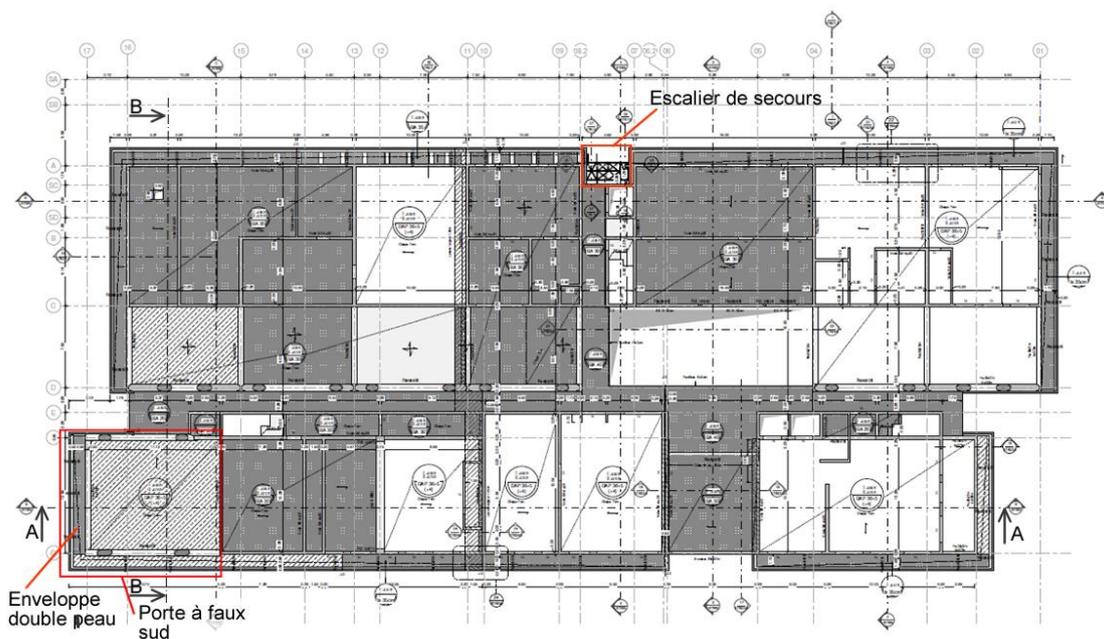
PLAN N 1 :



PLAN N 2 à N 6



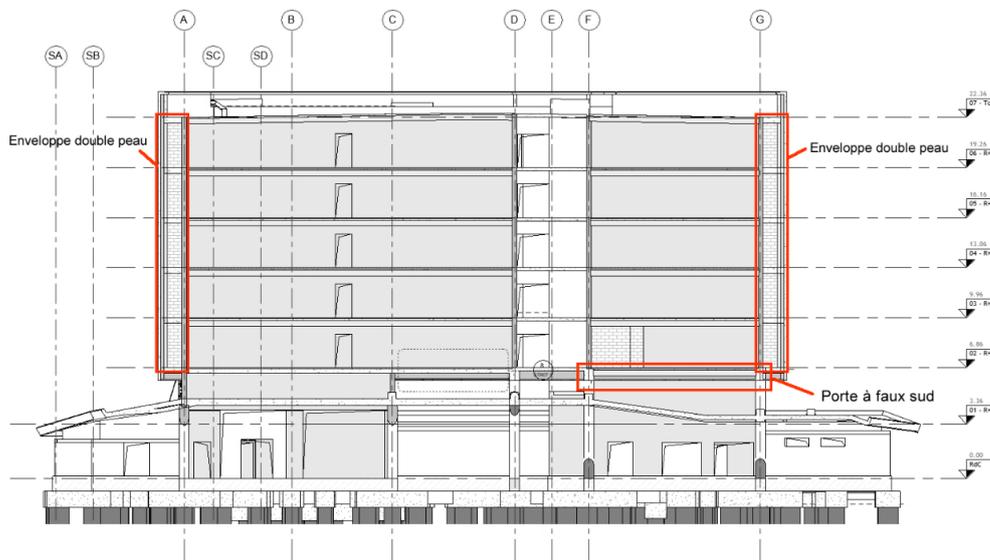
Plan de coffrage PHR+2



Coupe longitudinale A-A



Coupe transversale B-B



Document technique DT2 : extrait de la notice architecturale et structurelle

1 : LES TROIS CERCLES DU TERRITOIRE

Le projet architectural des Archives du département de l'Isère interprète trois logiques de territoires qui lui procurent les arguments de son organisation et de son architecture. Le territoire du département est le premier cercle. Il apporte histoire, géographie et économie pour guider l'image et l'approche constructive basée sur ses propres ressources. Le territoire du campus est le deuxième cercle, marqué par une pratique urbaine de plus de 50 ans, qui oriente et qualifie l'architecture. Les territoires du processus forment le troisième cercle, celui de la fonctionnalité et des usages qui organisent les espaces et qualifient les ambiances.

1.1 Le territoire de l'Isère, paysage calcaire, ressources locales, système constructif et architecture

L'Isère offre ses caractéristiques géologiques, la présence de ses massifs calcaires, la stratification très graphique des lits de matière qui les ont formés, la lecture des mouvements qui les ont déformés et un panel de couleurs, entre gris et ocre. Cette plastique particulière de la Chartreuse, du Vercors et de Belledonne encadre le bassin grenoblois.

La ressource de la filière ciment, créée et développée à Grenoble : l'épopée industrielle d'un matériau de construction issu des ressources du territoire continue à produire activités, emplois, bâtiments et innovations.

1.2 Le territoire du campus, paysage végétal, matière minérale

Depuis un demi-siècle, les universités aménagent le campus de Saint Martin-d'Hères. Urbanisme et architecture produisent un territoire spécifique de l'agglomération. Le projet des Archives milite pour cet engagement et reprend ses arguments. Les masses suspendues au-dessus d'un vide sont typiques des rez-de-chaussée du campus.

1.3 Les territoires du process, consultation et conservation, mouvements et frontières

Le programme des Archives instaure ses propres territoires. Celui de la médiation, ensemble des espaces qui reçoivent le public et permettent d'assurer la mission de consultation pour les professionnels ou les néophytes, dans l'aile Est du rez-de-chaussée. Celui de la conservation, dans l'aile Ouest, réservé aux archivistes, où s'installe le processus d'archivage avec des espaces dédiés et spécialisés.

Ce double processus s'exprime en espaces et mouvements, en parcours contenus dans les limites, frontières et porosités qui régulent les flux et assurent à la fois l'accueil et la sécurité. Dans chacun de ces deux secteurs, des circulations verticales créent le lien avec les magasins installés dans les niveaux supérieurs.

Le projet assemble ces deux entités autour de la rue intérieure, lieu d'accueil ouvert au public qui commande l'accès aux espaces de consultation et à la salle de conférences. Entre rez-de-chaussée transparent et fluide et superposition rationalisée des magasins, le niveau de bureaux reste réservé aux professionnels qui assurent l'organisation et la maîtrise de la mécanique générale du processus d'archivage et de consultation.

2: LES ARCHIVES UNE DOUBLE MISSION

Le programme des Archives valorise 2 missions : la conservation et la médiation. Le projet propose deux entités en rez-de-chaussée. Deux territoires clairement identifiés, séparés par une rue intérieure qui permet de différencier ces deux vocations et leurs deux publics.

2.1 La mission de conservation, l'aile Ouest

Elle prend en compte les documents et supports depuis leur franchissement de la grille d'entrée Sud jusqu'à l'installation dans les magasins qui les reçoivent et les stockent, les rendant enfin accessibles à la consultation. Elle s'installe dans l'aile Ouest.

2.2 La mission de médiation, l'aile Est

Elle s'ouvre avec l'entrée du public sur le site et s'étend jusqu'au retour des documents consultés dans les magasins où ils sont à nouveau disponibles. Elle occupe la rue intérieure et l'aile Est.

3: ORGANISATION FONCTIONNELLE

3.1 Deux accès au site et deux entrées du bâtiment

Aux deux accès du site, Nord et Sud répondent logiquement deux entrées pour les Archives et une rue intérieure qui les réunit. Cette logique renforce l'efficacité des flux qui alimentent le terrain, par le Nord depuis le campus, par le Sud depuis le parking. Ces deux entrées s'affichent sur leurs parvis respectifs.

3.2 Entrées transparentes aux deux faces de la rue, les pilotis en V comme guides

Sur ces deux orientations, le projet présente ses façades les plus étroites, élancements scindés en deux volumes par une césure vitrée qui repère les accès, comme souvent sur le campus : deux parois transparentes montrent leurs jours respectifs et se font face aux extrémités de l'espace éclairé en son milieu par un atrium de lumière.

3.3 Les espaces de la conservation

Ils occupent l'aile Ouest du rez-de-chaussée. Leur relation avec la rue intérieure est strictement contrôlée. Le secteur est organisé depuis le parking Sud du personnel et distribué par une circulation linéaire Sud-Nord qui dessert l'ensemble des espaces et les connecte au tube du monte-charge vers les six niveaux de magasins. Locaux habités en façade Ouest, à la lumière naturelle, locaux de stockage, ne nécessitant pas de lumière naturelle sur l'intérieur, contre le mur aveugle de la rue intérieure.

3.4 La circulation horizontale en T des magasins, à la lumière naturelle

Quatre blocs de magasins encastrent des césures verticales vitrées. Les magasins sont installés du R+2 au R+6 et distribués par une circulation en T qui se connecte aux deux tubes verticaux des monte-charge ainsi qu'aux escaliers de secours. L'atrium et les failles des quatre façades, ainsi créées, apportent lumière naturelle et vue sur le territoire, les parcours profitent de la lumière naturelle sans que celle-ci n'apporte d'ensoleillement direct sur les ouvrages qui y circulent. Le confort de travail est ainsi privilégié, offrant aux archivistes la conscience permanente du temps qu'il fait et du temps qui passe. Les circulations en périphérie de l'atrium sont ouvertes sur celui-ci, offrant l'animation des mouvements des archivistes et des chariots à tous, y compris au public qui suit ainsi le cheminement des documents appelés en consultation.

4: MATIERE D'ARCHITECTURE ET INTERIEURES

4.1 La ligne campus et Charte de Valorisation du Patrimoine Architecturale (VPAUP)

Les rez-de-chaussée doivent être non construits ou manifestement transparent (avec vitrage toute hauteur) sur un minimum de 33% de la surface.

La charte VPAUP souhaite que « la forme suive la fonction ». Pour cela elle recommande « les matières brutes », à trame orientée, les jeux de liaisons raffinées entre les volumes. Elle demande de « gagner en simplicité formelle » et d' « encourager au maximum le principe d'un système de volume orthonormés » et « les teintes qui évoquent la nature (eau, végétal, montagne).

4.2 Les matières intérieures

Le béton qui constitue le squelette du bâtiment est très présent et le reste dans tous les magasins. Il reste également présent dans les espaces publics dans des finitions soignées. Le béton ciré du sol de la rue intérieure décline le même matériau.

La ligne de mobilier en bois est déjà présente sur les perspectives intérieures. Elle peut se décliner sur l'ensemble du bâtiment dans le cadre de la définition et du choix du mobilier. Le même matériau traite les ouvrages de correction acoustique présent notamment dans la salle de conférence, la salle de consultation, la salle de réunion et la rue intérieure.

Les murs rideaux qui ouvrent les salles sur la rue intérieure sont des murs rideaux d'aluminium et de verre. Le verre et l'inox sont également présents sur les garde-corps.

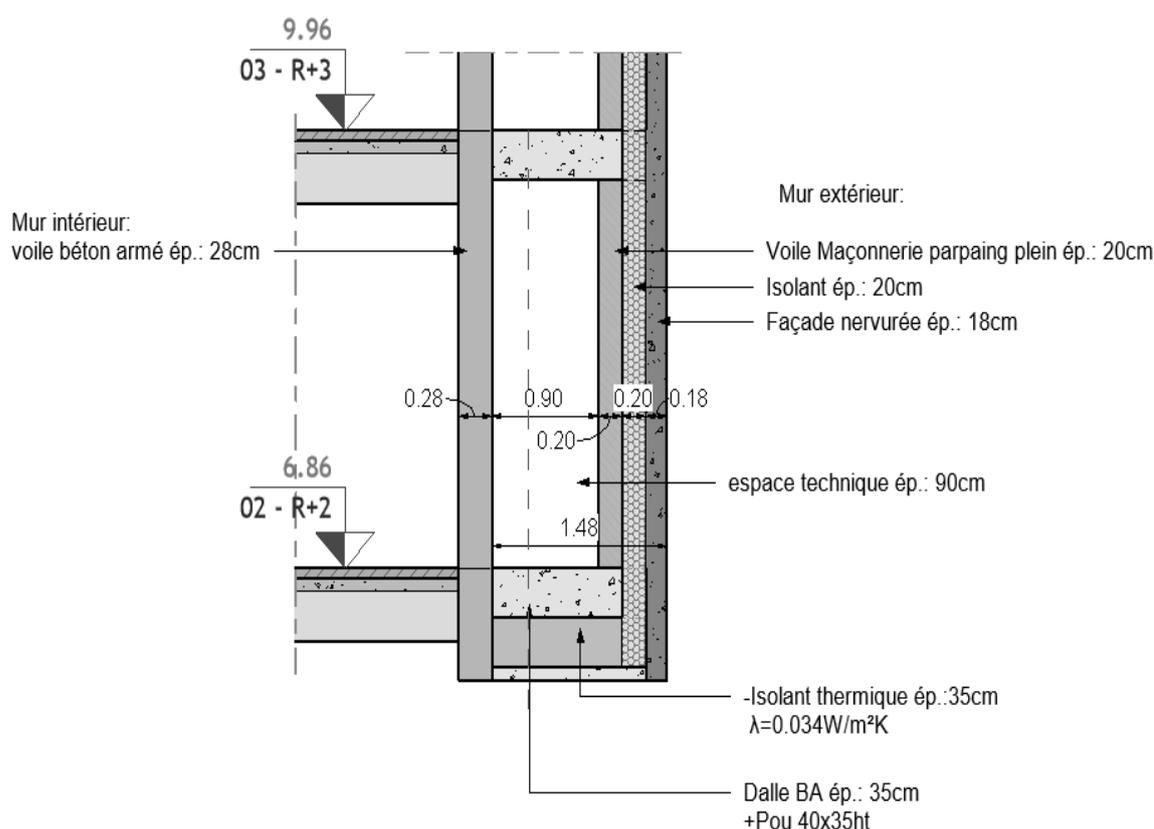
Document technique DT3 : DOCUMENTATIONS THERMIQUES

Cahier des charges thermiques des magasins :

Saison	Conditions extérieures de base	Température d'air intérieur	Hygrométrie Hr %	Valeurs cibles	Fluctuations acceptables
HIVER	-11 °C, 90% Hr	18 à 23 °C	50 +/- 5%	20 °C 50% Hr	+/- 1 K sur 24h +/- 2 K sur 1 semaine
ETE	32 °C, 40% Hr	23,5 °C en inoccupation			

D'après le fascicule 4 des règles TH bât, lorsqu'un espace entre 2 murs a une épaisseur supérieure à 30 cm ce dernier est considéré comme un espace non chauffé. Il faut donc considérer que la double peau est constituée de 2 murs : le mur extérieur et le mur intérieur séparés par un local non chauffé

Coupe de la double peau sur les étages 2 à 6 :



Conductivité des matériaux :

Matériau	Béton armé	Voile maçonnerie Parpaing plein	Isolant	Façade nervurée
$\lambda \text{ W}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{K}^{-1}$	2,3	1,65	0,034	2,3

DT 3 2/2

Pour l'espace technique, sans ventilation les résistances superficielles seront prises identiques à R_{sj} , avec ventilation elles seront prises identiques à R_{se} .

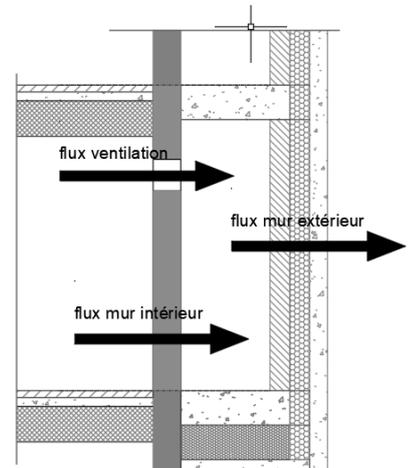
Débit volumique d'air transmis dans l'espace technique :

$$Q_v = 588 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \text{ par magasin}$$

$$\text{Masse volumique de l'air } \rho = 1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$\text{Surface du mur donnant sur l'extérieur par magasin : } S = 28 \text{ m}^2$$

$$\text{Surface de l'ensemble de la paroi « double peau » du bâtiment : } S = 4287 \text{ m}^2$$



Rappel de thermique :

Le flux de conduction dans un matériau solide peut être représentée par la loi de Fourier :

$$\vec{\varphi} = -\lambda \times \overrightarrow{\text{grad}(T)} \quad (1)$$

où : T est la température en K ou $^{\circ}\text{C}$,

φ est la densité de flux de chaleur en W/m^2 ,

λ est la conductivité thermique du matériau, constante et uniforme, en $\text{W}/\text{m}^{\circ}\text{C}$,

$\overrightarrow{\text{grad}(T)} = \left(\frac{\partial T}{\partial x}, \frac{\partial T}{\partial y}, \frac{\partial T}{\partial z} \right)$ en coordonnées cartésiennes.

En réalisant un bilan énergétique sur un volume élémentaire et en utilisant la loi de Fourier, on obtient l'équation de la chaleur en coordonnées cartésiennes, équation permettant de décrire la distribution de température dans le matériau :

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = \frac{\rho \times C}{\lambda} \times \frac{\partial T}{\partial t} \quad (2)$$

où : ρ est la masse volumique en $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$,

C est la capacité calorifique massique en $\text{J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Document technique DT4 : DOCUMENTATIONS ACOUSTIQUES

Vues 3D partielles de la salle

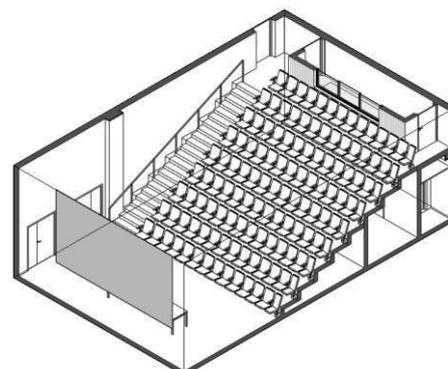
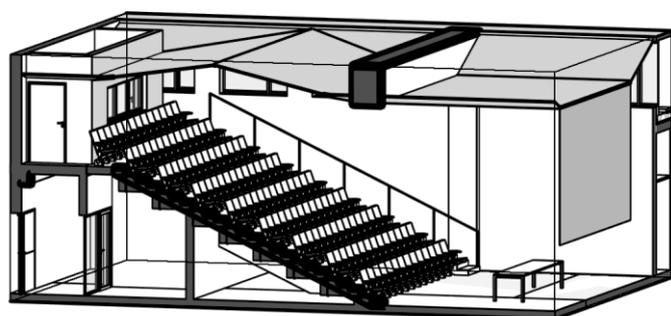


Tableau de calcul des Tr :

	Surface [m²]		250	500	1000	2000	4000
béton	218	α	0,01	0,01	0,02	0,03	0,04
		αS	2,18	2,18	4,36	6,54	8,72
vitrages	20	α	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
		αS	5	3,6	2,4	1,4	0,8
moquette	30	α	0,05	0,08	0,22	0,34	0,44
		αS	1,5	2,4	6,6	10,2	13,2
plafond traité	65	α	0,7	0,95	0,75	0,6	0,65
		αS	45,5	61,75	48,75	39	42,25
plafond non traité	50	α	0,01	0,03	0,04	0,03	0,04
		αS	0,5	1,5	2	1,5	2
portes	6	α	0,15	0,12	0,1	0,08	0,07
		αS	0,9	0,72	0,6	0,48	0,42
Mur régie	6	α	0,7	0,95	0,9	0,83	0,7
		αS	4,2	5,7	5,4	4,98	4,2
fauteuils	57	α	0,76	0,81	0,84	0,84	0,81
		αS	43,32	46,17	47,88	47,88	46,17
		Aeq	103,1	124,02	117,99	111,98	117,76
		Tr	0,72	0,598	0,629	0,663	0,63

Formule de sabine : $Tr = \frac{0,161 V}{Aeq}$

Avec : Tr : temps de réverbération en seconde

V = 461 m³ : volume de la salle de conférence

Aeq : aire d'absorption équivalente en m² sabine

Le CCTP indique que le Tr doit être calculé en inoccupation.

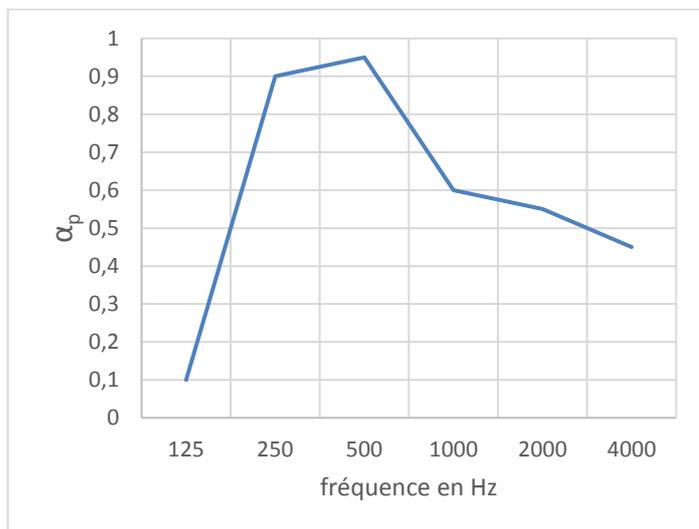
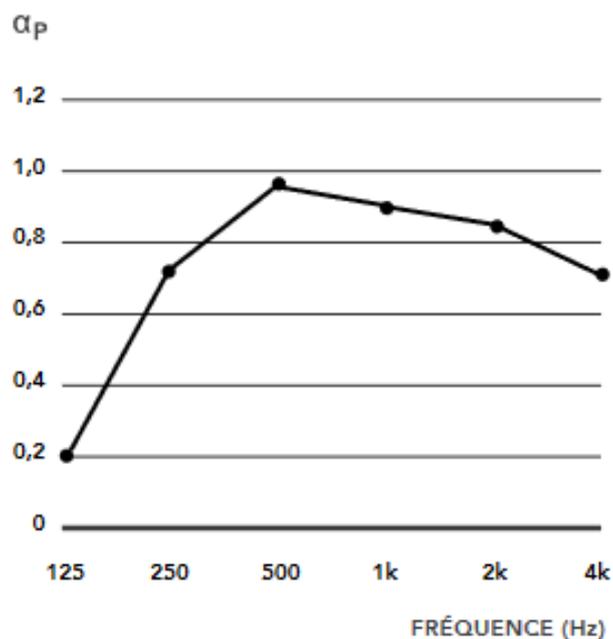
DT 4 2/2

Temps de réverbération optimum	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz
seconde	0,65	0,46	0,48	0,5	0,55

Extrait documentation plafond suspendu :
BARRISOL A20 ACOPERF



COEFFICIENT D'ABSORPTION ACOUSTIQUE



Extrait documentation mur LAUDESCHER
LINEA 4.2.1 Mur +LR 20 mm sur plénum
E 50 mm:

Documentation technique DT5 : ESCALIER DE SECOURS

A/ Exigences : En état limite de service la flèche maximale de ces poutres métalliques ne doit pas dépasser 3,5 mm, et l'acier doit avoir un comportement élastique. En état limite ultime il faut s'assurer que l'acier ne se plastifie pas. La solution doit être la plus économique.

B/ Caractéristiques de la section et des matériaux utilisés pour le modèle mécanique (paramètres internes):

Moment quadratique : $I_z=820,36 \text{ cm}^4$ (tube rectangulaire creux : section : 160x90x5 mm)

Aire de la section : 24 cm^2

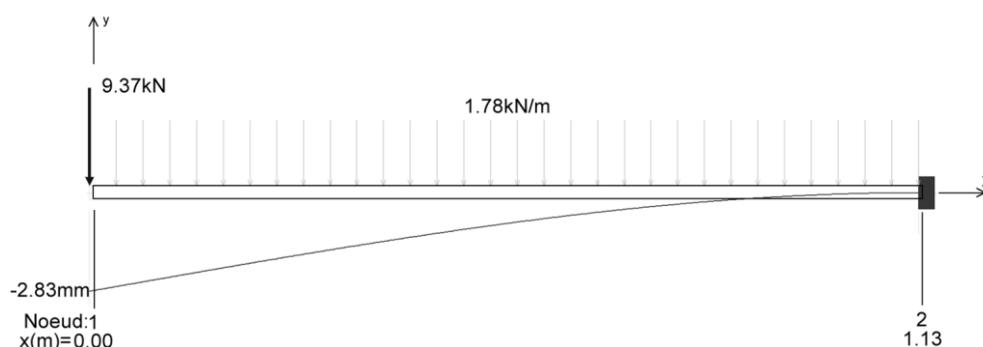
Module de Young : $E=210 \text{ GPa}$

Contrainte normale admissible de l'acier : 275 MPa (acier S275)

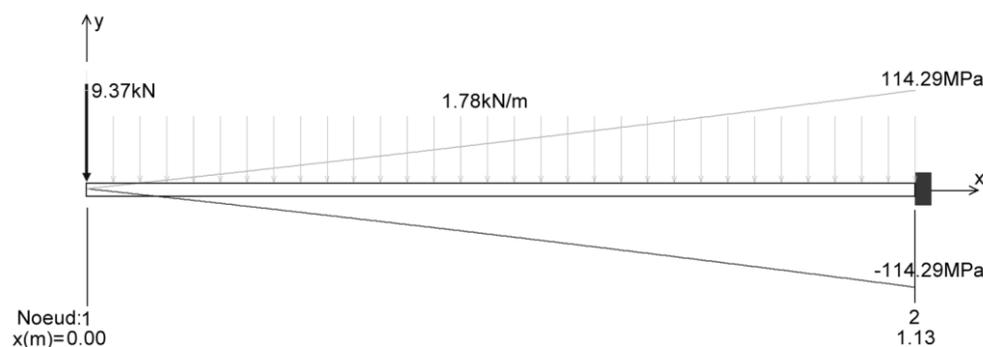
C/ Résultats de simulation sur la poutre tubulaire métallique de structure de l'escalier de secours

C.1 ELS :

Résultat de simulation ELS : flèche

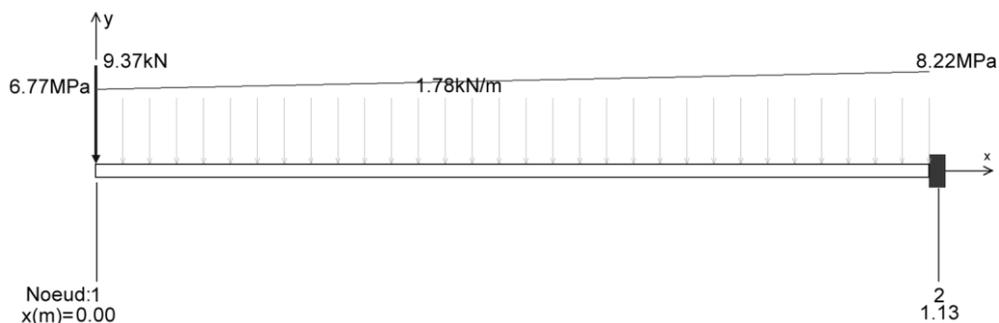


Résultat de simulation ELS : contraintes normales en fibres extrêmes



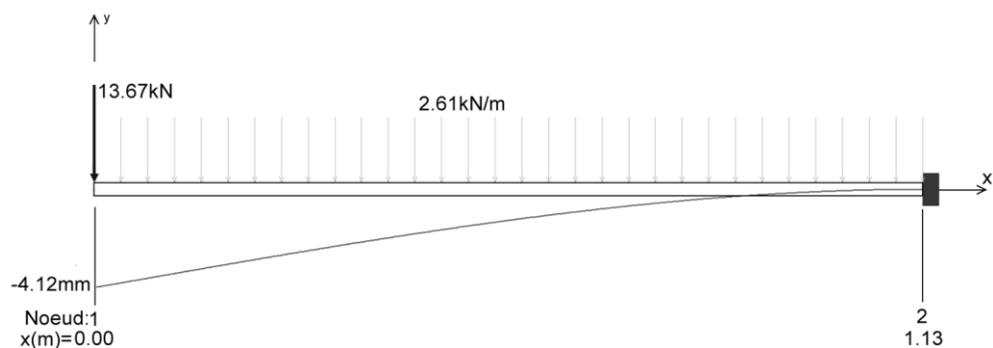
DT 5 2/2

Résultat de simulation ELS : contraintes tangentielles maximales

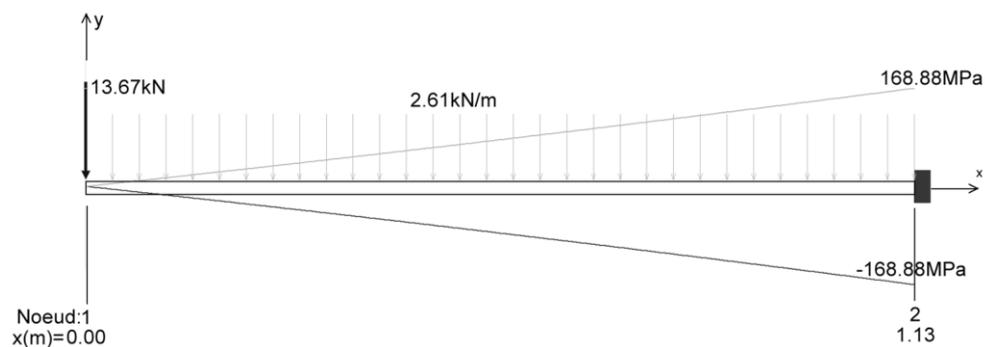


C.2 ELU :

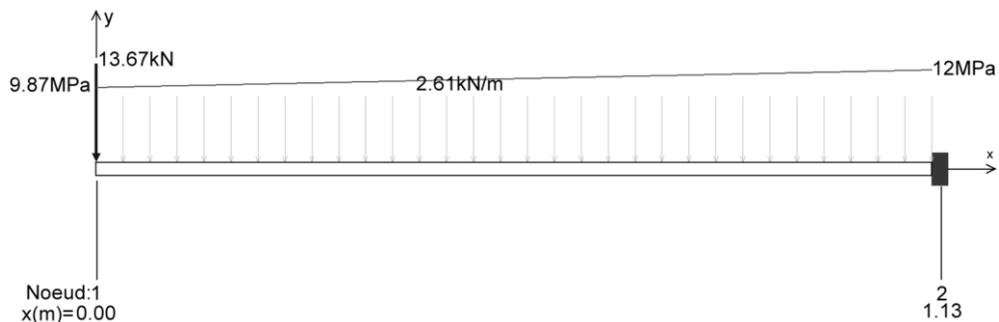
Résultat de simulation ELU : flèche



Résultat de simulation ELU : contraintes normales en fibres extrêmes

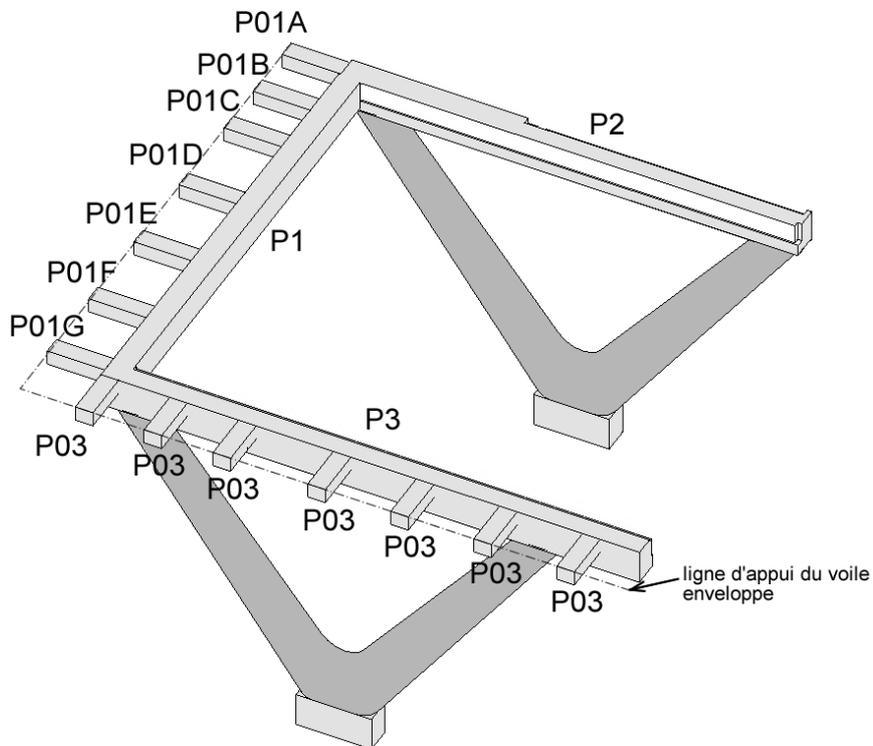


Résultat de simulation ELU : contraintes tangentielles maximales



Documentation technique DT6 :
ETUDE MECANIQUE DU PORTE A FAUX SUD

A/ Extrait de la maquette IFC de la vue en perspective des poutres du secteur du porte à faux sud



B/ Schéma mécanique

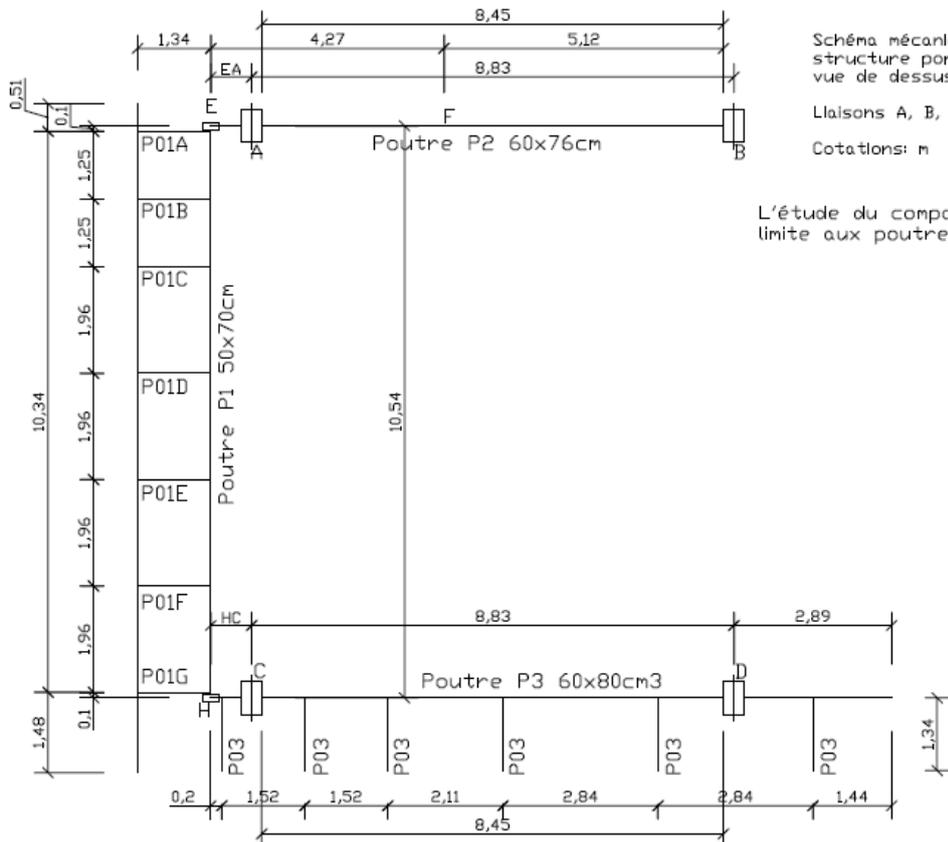
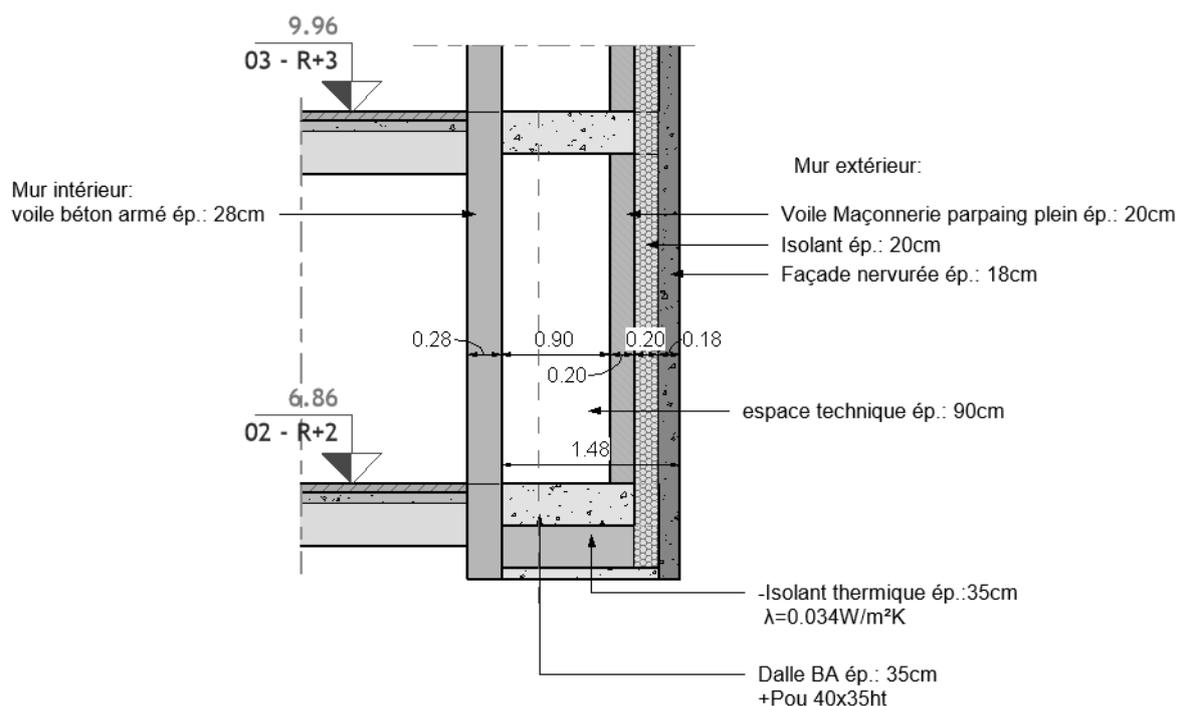


Schéma mécanique
 structure porte à faux sud.
 vue de dessus
 Liaisons A, B, C, D, E, H pivot
 Cotations: m

L'étude du comportement mécanique se limite aux poutres type P01, P1 et P2.

DT 6 2/3

C/ Extrait de la maquette IFC de la nomenclature mur double peau sud



Niveau	Élément de paroi	Matériau: Nom	Longueur (m)	Largeur (m)	Hauteur (m)	Matériau: poids volumique (kN/m ³)	Charge linéique (kN/m)
toiture	double peau Isolant	Isolant polystyrène 200 mm	12,5	0,2	1,45	0,5	0,15
toiture	Voile BA 18 cm TT	Béton armé C30	12,5	0,18	1,6	25	7,2
toiture	Voile BA ép20	Béton armé C30	12,5	0,2	1,45	25	7,25

total: 14,6

R+6	double peau Isolant	Isolant polystyrène 200 mm	12,5	0,2	3,17	0,5	0,32
R+6	double peau extérieure préfa. 18cm	Béton armé C30	12,5	0,18	3,1	25	13,95
R+6	double peau intérieure maçonnerie	Parpaing plein 20x20x50	12,5	0,2	3,1	23	14,26

total: 28,53

R+5	double peau Isolant	Isolant polystyrène 200 mm	12,5	0,2	3,1	0,5	0,31
R+5	double peau extérieure préfa. 18cm	Béton armé C30	12,5	0,18	3,1	25	13,95
R+5	double peau intérieure maçonnerie	Parpaing plein 20x20x50	12,5	0,2	3,1	23	14,26

total: 28,52

DT 6 3/3

Niveau	Elément de paroi	Matériau: Nom	Longueur (m)	Largeur (m)	Hauteur (m)	Matériau: poids volumique (kN/m ³)	Charge linéique (kN/m)
R+4	double peau Isolant	Isolant polystyrène 200 mm	12,5	0,2	3,1	0,5	0,31
R+4	double peau extérieure préfa. 18cm	Béton armé C30	12,5	0,18	3,1	25	13,95
R+4	double peau intérieure maçonnerie	Parpaing plein 20x20x50	12,5	0,2	3,1	23	14,26

total: 28,52

R+3	double peau Isolant	Isolant polystyrène 200 mm	12,12	0,2	3,1	0,5	0,31
R+3	double peau extérieure préfa. 18cm	Béton armé C30	12,5	0,18	3,1	25	13,95
R+3	double peau intérieure maçonnerie	Parpaing plein 20x20x50	12,5	0,2	3,1	23	14,26

total: 28,52

R+2	double peau Isolant	Isolant polystyrène 200 mm	12,5	0,2	3,8	0,5	0,38
R+2	double peau extérieure préfa. 18cm	Béton armé C30	12,5	0,18	3,9	25	17,55
R+2	double peau intérieure maçonnerie	Parpaing plein 20x20x50	12,5	0,2	3,1	23	14,26

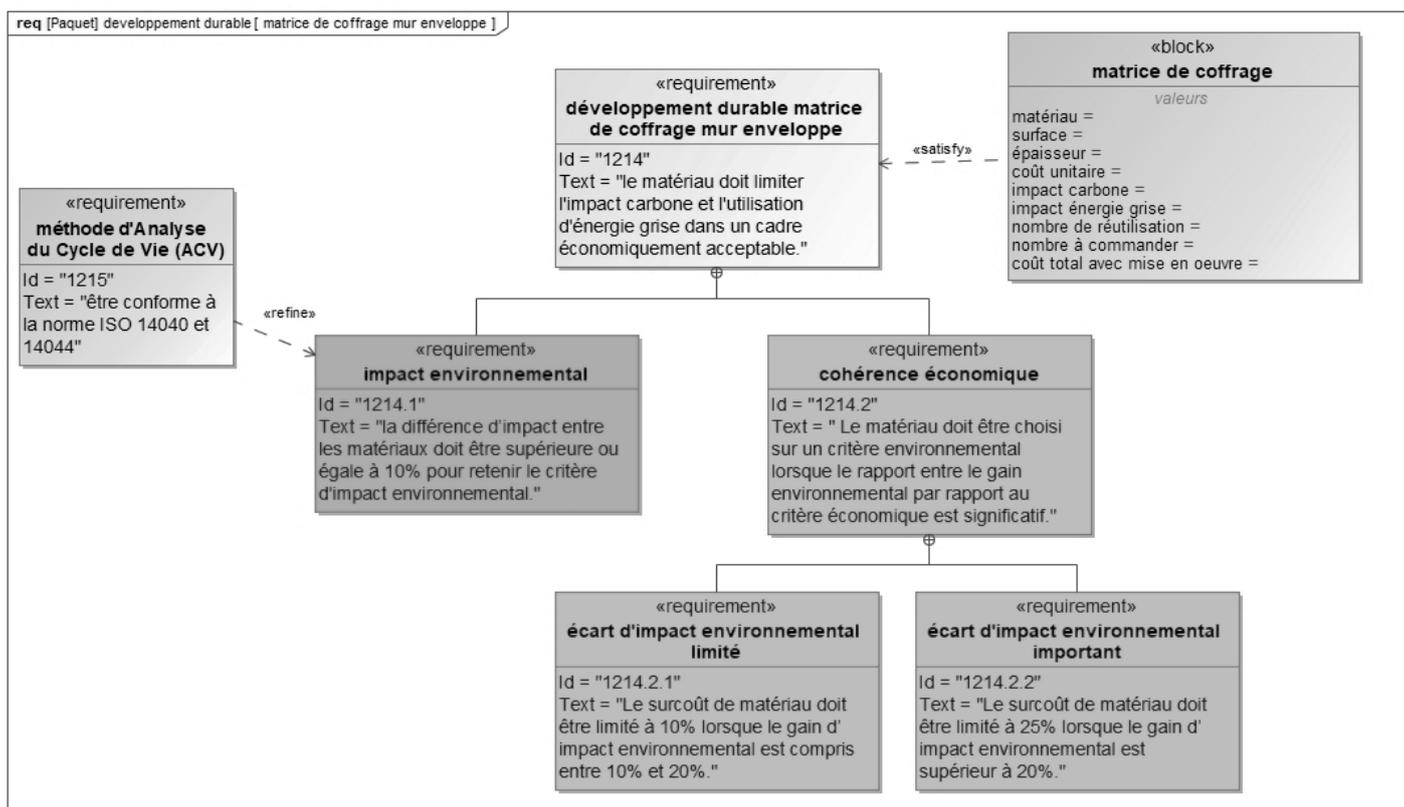
total: 32,19

Documentation technique DT 7 : PEAU DE COFFRAGE

A/ Matériaux éligibles : le bois et l'élastomère de polyuréthane recyclé ont des performances de couverture, d'étanchéité et de finition, permettant de répondre à la qualité attendue de relief.

B/ Exigences : le matériau idéal satisferait l'ensemble de ces critères de performance, environnementaux et économique. Cependant, dans le cas contraire, l'entreprise fixe un ensemble d'exigences garantissant une cohérence entre la question économique et la limitation de l'impact environnemental.

Ainsi les exigences suivantes sont définies :



C/ Caractéristiques des matériaux étudiés

Les valeurs d'impact environnemental sont globalisées pour tout le cycle de vie.

Matériau	Masse volumique (kg/m ³)	Épaisseur nécessaire (mm)	Nombre d'utilisation	Impact carbone* (kg eqCO ₂ /kg)	Consommation énergie grise* (kW.h/kg)	Coût (€/m ²)
Bois à faible durée d'usage produit en France	380	27	25	0,0366	0,7	120
Elastomère de polyuréthane recyclé	34	22	65	1,2	29,04	289

* pour tout le cycle de vie.

Les deux matériaux peuvent être revalorisés en fin de vie.

Annexe A1 : méthode des déplacements nuls et intégrales de Mohr

DEFORMATION EN FONCTION DU MOMENT DE TORSION ET DU MOMENT DE TORSION UNITAIRE

$$\theta = \int_0^L \left(\frac{M(x).m(x)}{G.J} \right). dx$$

G: module de Coulomb, J: moment d'inertie de torsion de la section.

METHODE DES DEPLACEMENTS NULS APPLIQUEE A LA TORSION

$$\int_0^L \left(\frac{M(x).m(x)}{G.J} \right). dx + X. \int_0^L \left(\frac{m(x).m(x)}{G.J} \right). dx = 0$$

X: moment de torsion en appui hyperstatique.

TABLEAU DES INTEGRALES DE MOHR

Le tableau des intégrales de Mohr donne les valeurs:

$$\frac{1}{L} \int_0^L M(x).m(x). dx$$

Introduire M et m avec leur signe					
	M.m	1/2 M.mg	1/2 M.md	1/2 M.m	1/2 M.m
	1/2 m.(Mg+Md)	1/6 mg.(2Mg+Md)	1/6 mg.(Mg+2Md)	1/6 m.[Mg.(1+β)+Md.(1+α)]	1/4 m.(Mg+Md)
	1/2 m.(Mg+Md)	1/6 mg.(2Mg+Md)	1/6 mg.(Mg+2Md)	1/6 m.[Mg.(1+β)+Md.(1+α)]	1/4 m.(Mg+Md)
	0	1/6 Mg.mg	-1/6 Mg.mg	1/6 Mg.m.(1-2α)	0
	1/2 Mg.m	1/3 Mg.mg	1/6 Mg.md	1/6 Mg.m.(1+β)	1/4 Mg.m
	1/2 Md.m	1/6 Md.mg	1/3 Md.md	1/6 Md.m.(1+α)	1/4 Md.m
	1/2 M.m	1/6 M.mg.(1+β)	1/6 M.md.(1+α)	1/3 M.m	1/12 M.m.(3-4α²)/β valable pour α<β
	1/2 M.m	1/4 M.mg	1/4 M.md	1/12 M.m.(3-4α²)/β valable pour α<β	1/3 M.m
	1/3 Mg.m	1/4 Mg.mg	1/12 Mg.md	1/12 Mg.m.(1+β+β²)	7/48 Mg.m
	1/3 Md.m	1/12 Md.mg	1/4 Md.md	1/12 Md.m.(1+α+α²)	7/48 Md.m
	2/3 M.m	1/3 M.mg	1/3 M.md	1/3 M.m.(1+α.β)	5/12 M.m
	2/3 Mg.m	5/12 Mg.mg	1/4 Mg.md	1/12 Mg.m.(5-α-α²)	17/48 Mg.m
	2/3 Md.m	1/4 Md.m	5/12 Md.md	1/12 Md.m.(5-β-β²)	17/12 Md.m

Annexe A2 : matériaux et organigramme de calcul béton armé

Hypothèses :

- Enrobage des armatures : $e=3\text{ cm}$
- Comportement mécanique des matériaux du béton armé :

Béton:

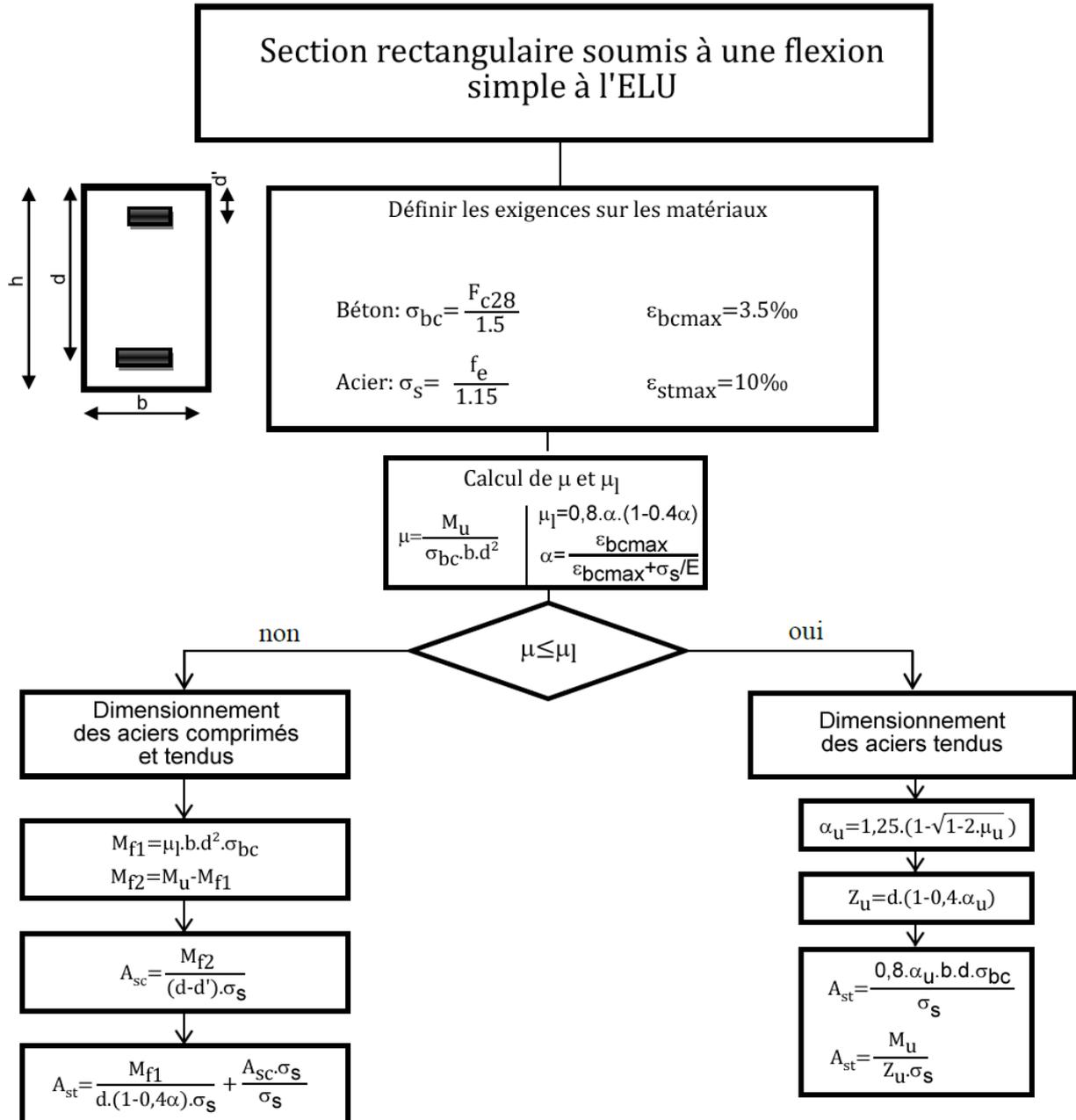
$$F_{c28}=30\text{MPa}$$

$$\text{module de Young : } E=11000 \cdot \sqrt[3]{f_{cj}}$$

Acier HA:

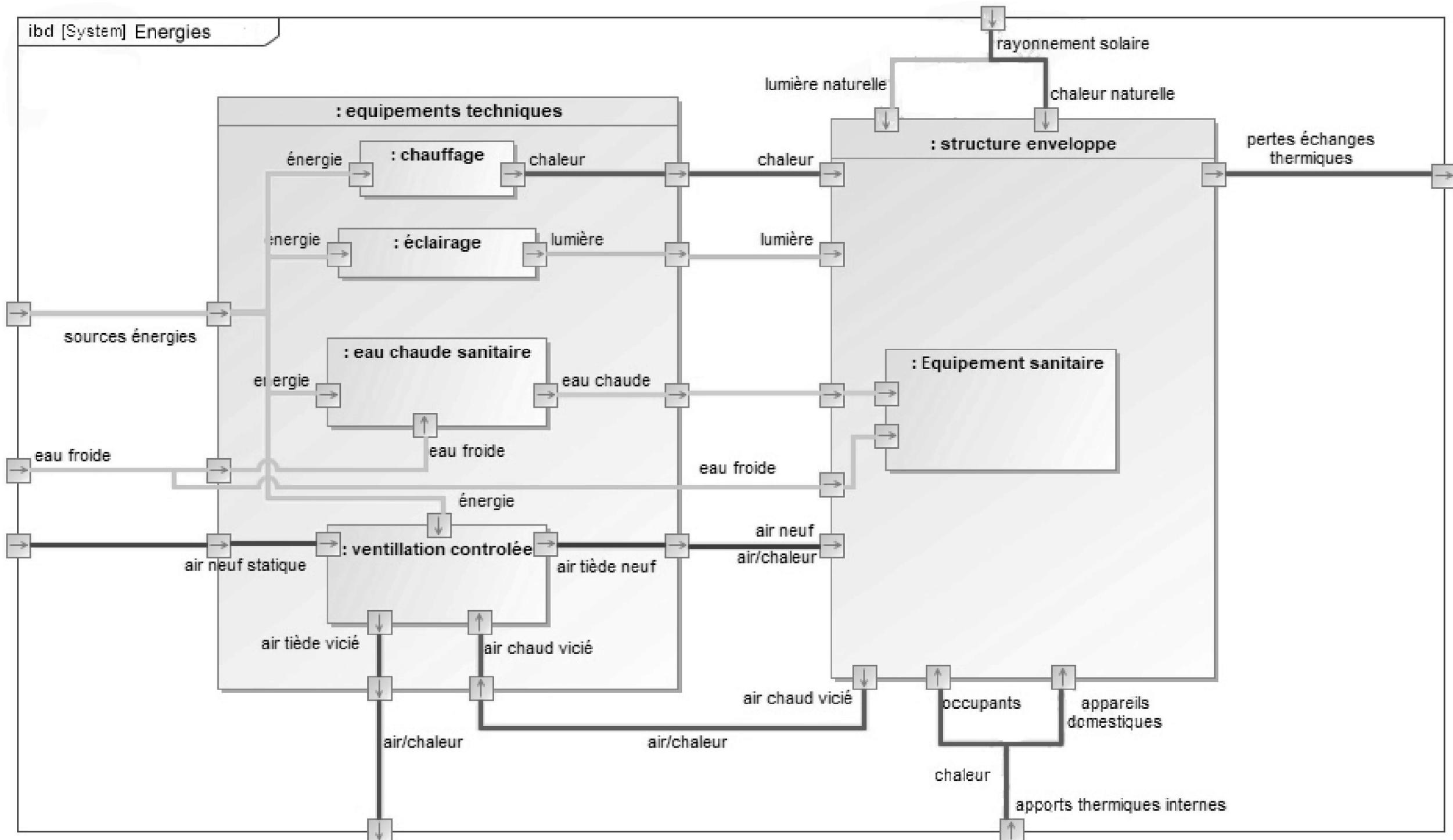
$$F_e=500\text{MPa}$$

$$\text{Module de Young: } E=200\text{GPa}$$



NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

Document réponses DR1 ▲ Étude 2 ▲ Q 3 ▲



NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

Document réponses DR3 ▲ Étude 5 : Étude mécanique porte à faux sud ▲ Q 20, 21 & 22 ▲

C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14
Désignation poutre	Type	Longueur (m)	Volume (m3)	Surface section (m²)	Poids linéique (kN/m)	Fonction mécanique (analyse entrée/sortie)	Désignation poutre	charge linéique sur poutre (kN/m)	charge ponctuelle d'extrémité (kN)	Moment de torsion sur P1 (kN.m)	L0 (m)	Moment de torsion en B (kN.m)	Moment de torsion en C (kN.m)
P01	Poutre 40x35	1,34	0,188	0,14	3,5		P01A	g=37,66 q=0,95	G=				
							P01B	g=10,94 q=1,88	G=				
							P01C	g=14,04 q=2,41	G=				
							P01D	g=17,15 q=2,94	G=				
							P01E	g=17,15 q=2,94	G=				
							P01F	g=17,15 q=2,94	G=				
							P01G	g=17,74 q=3,05	G=				
P03	Poutre 40x35	1,34	0,19	0,14	3,5	Support du voile double peau et du plancher de la zone technique. Transmission de ces charges à la poutre P3	NON TRAITE				Mtg=		
											Mtq=		
P1	Poutre 50x70	10,54	4	0,35	8,75		P1	g=325,33 q=9,12 sn=0,97					
P2	Poutre 60x73	9,58	4,20	0,44	10,95		P2	Jusqu'à 4,27m Après 4,27m g1=439,73 g2=368,85 q1=342,55 q2=361,48 sn1=3,70 sn2=5,25					
P3	Poutre 60x80	12,47	5,99	0,48	12		NON TRAITE						