

SESSION 2021

**AGREGATION
CONCOURS EXTERNE**

Section : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR

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

**CONCEPTION PRÉLIMINAIRE D'UN SYSTÈME,
D'UN PROCÉDÉ OU D'UNE ORGANISATION**

Durée : 6 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	Section/option	Epreuve	Matière
EAE	1416A	103	1268

Avis aux candidats :

Les **références des questions** doivent être **clairement indiquées** avant chaque réponse.

- Tout résultat doit être justifié, le cas échéant illustré par des schémas.
- Les renseignements non fournis ou les données supposées manquantes sont laissés à l'initiative du candidat après explications et justifications.
- Dans le cas où un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale très lisiblement dans sa copie, propose la correction envisagée et poursuit l'épreuve en conséquence.

Documents constituant le dossier

Sujet _____	2
Partie 1 : Généralités et Préparation de chantier _____	3
Partie 2 : Confort thermique, hygrothermique et acoustique du bâtiment _____	7
Partie 3 : Etude d'éléments de la structure _____	16

SUJET

Le sujet proposé porte sur l'opération de construction d'un bâtiment à usage d'habitation. Cet ouvrage de 8 logements fait partie d'un projet de lotissement comportant un ensemble de 12 lots :

- 2 seront destinés à la réalisation de petits bâtiments collectifs de 6 logements chacun.
- 1 sera destiné à la réalisation d'un petit bâtiment collectif de 4 logements.
- 4 seront destinés à la réalisation de maisons individuelles jumelées.
- 4 seront destinés à la réalisation de maisons individuelles.
- 1, le support de cette épreuve, est le lot numéro 8, et sera destiné à la réalisation d'un bâtiment collectif réservé à 8 logements sociaux.



Cette opération est située dans une zone à contrainte sismique importante, dans le département de l'Isère (38). La maîtrise d'ouvrage est assurée par la SIH (Société Iséroise pour l'Habitat).



Figure 1 : Vue d'ensemble du bâtiment de 8 logements

Les études qui vous sont proposées sont indépendantes les unes des autres.

La **PARTIE 1** porte sur des généralités concernant les opérations de construction ainsi que de l'organisation et préparation du chantier.

La **PARTIE 2** traite du confort thermique, hygrométrique et acoustique du bâtiment.

La **PARTIE 3** porte sur le pré-dimensionnement d'éléments de la structure.

Partie 1 : Généralités et Préparation de chantier

Responsable au sein de la société de construction et de gestion de logements assurant la maîtrise d'ouvrage, vous êtes chargé d'argumenter en faveur d'une démarche BIM .



1.1. Le BIM dans la construction

L'utilisation de maquettes numériques communes lors d'une opération de construction est de plus en plus adoptée voire imposée. Pour cet ouvrage, le niveau de maturité se situe au niveau 2.

Niveaux de maturité BIM

Les niveaux de maturité BIM font référence aux différents niveaux de complexité et de collaboration d'une Modélisation des Données du Bâtiment. Plus le niveau de maturité BIM est élevé, plus les informations sont partagées dans le processus de construction. Chaque niveau représente un ensemble différent de critères présentant un certain niveau de « maturité ».

Les niveaux démarrent avec 0 et jusqu'à BIM 4D, 5D et même 6D :

Niveau 0 - pas de collaboration

Niveau 1 - conception en 3D, version en 2D, fichiers partagés dans un Environnement de Données Commun.

Niveau 2 - échange de modèles en 3D

Niveau 3 - collaboration dans un modèle de projet partagé unique

4D BIM - visualisation BIM d'un planning de construction

5D BIM - le modèle inclut les données relatives aux coûts

6D BIM - le modèle inclut les données de cycle de vie

Q1. Précisez, pour chacune des 6 phases suivantes proposées, les intérêts de l'utilisation du BIM en vous appuyant sur des exemples de l'exploitation du modèle numérique pour le niveau de maturité le plus élevé pour la SIH, la société qui assure la construction et la gestion des logements.

Phases : CONCEPTION, CONSTRUCTION, DOE, EXPLOITATION, MAINTENANCE, DECONSTRUCTION.

Responsable de la maîtrise d'œuvre, chargé de la validation des plans avant DCE, vous devez vous assurer de la prise en compte de quelques règles liées à la sécurité incendie.

L'ensemble des plans d'Architecte phase DCE sont en annexe 1 (sur 8 pages).

1.2. La sécurité Incendie – Accès pompiers

- Q2.** En vous appuyant sur les extraits réglementaires de l'annexe 2, quel est le classement de ce bâtiment d'habitation ?
- Q3.** Citez une ou deux dispositions constructives liées à la sécurité incendie prises pour les éléments de structure (les porteurs verticaux, les porteurs horizontaux) et liées aux accès pompiers pour les dégagements.

Responsable études au sein d'une entreprise de gros-œuvre, en situation de réponse à l'appel d'offre concernant le lot 1(GO) de l'opération

1.3. L'appel d'offre

- Q4.** Quelle est la signification de l'acronyme DPGF ? pourquoi est-elle établie ?
- Q5.** En 6 ou 7 titres de chapitres, proposez le sommaire du mémoire technique demandé que vous auriez fourni. Vous détaillerez et développerez en une dizaine de lignes le chapitre dont le titre serait : « Sécurité, hygiène et mesures sanitaires. »

Extrait de la DPGF :

Lot N°01 GROS ŒUVRE - MAÇONNERIE					
	Désignation	U	Quantité	Prix unit. en €	Total en €
7	SUPERSTRUCTURE				
7.1	MUR PORTEUR EN BÉTON BANCHÉ				
	Béton refends	m ³	74,00	à déterminer Q7	
	Coffrage refends	m ²	795,000	à déterminer Q7	
	Béton façades	m ³	7,000		
	Coffrage façades	m ²	68,00		
7.2	MAÇONNERIE EN BLOC BÉTON CELLULAIRE				
	Surface courante des façades en bloc de 25 cm d'épaisseur	m ²	430,00		
	Planelle en rive de dalle	m ²	28,00		
	Engravure sur refend	m ²	7,00		
7.3	POTEAU EN BÉTON ARMÉ				
	Béton poteau	m ³	3,000		
	Coffrage poteaux de section carrée ou rectangulaire	m ²	42,00		

En vous appuyant sur les plans fournis en annexes 1 et 3 (vue en plan structure niveau R+1), vous êtes en situation de vérifier les quantités de béton (74 m³) et de surfaces coffrées (795 m²) pour les murs de refend de la superstructure.

- Q6.** Montrez la démarche à adopter pour effectuer la vérification de ces quantités en ne faisant la détermination que pour ce niveau R+1.

Les ouvertures sur les murs de refend sont de 1.00 m x 2.12 m

Q7. Etablissez les prix de vente HT pour ces 2 lignes (béton refends et coffrage refends).

Données Entreprise.

Hypothèses de TU :

Voiles BA :

Bétonnage à la benne à béton de 0,8 m³, voile de 20 cm : 0,8 h/m³

Aciers TS : 0,04 h/kg ratio d'aciers nécessaire : 10kg/m² de mur.

HA : 0,025 h/kg ratio d'aciers nécessaires : 16 kg/m³

Reprise et finition des surfaces coffrées : 0,05h/m²

Coffrage : 0,30h/m²

Hypothèses fournitures :

Acier HA : 2 €/kg, pertes 3%

Acier TS : 1,40 €/kg, pertes 3%

Béton C25/30 : 90 €/m³ rendu chantier

Hypothèse location matériel :

Banches et accessoires : 2 €/m²

Hypothèse main d'œuvre :

DHMO : 28 €

Données pour la détermination du coefficient de vente :

Les frais de chantier sont de 12 % des déboursés secs

Les frais généraux sont de 8 % du PVHT

Les frais d'opération sont de 2 % des déboursés secs

Bénéfices et Aléas : 4 % du PVHT

Responsable travaux au sein de l'entreprise de gros-œuvre, associé au chef de chantier, en situation de préparation du chantier

1.4. Procédés généraux de construction

Le matériel de coffrage de voiles est précisé en annexe 4.

Le plan de structure du R+1 est en annexe 3.

La codification retenue pour la question 8 sera :

Largeur 2,50 type A

Largeur 1,25 type B

Largeur 0,625 type C

Q8. En complétant le **DR1** (voiles à coffrer du R+1) proposez un phasage général de réalisation des voiles banchés sur le R+1 (murs BA à créer) – *La limite sera fixée à 15 ml/j ; pas de banches d'angle.*

Vous préciserez et justifierez les équipages de banches ainsi que les éléments utilisés (règles, mannequins, trapons) – *une partie du matériel utilisé par l'entreprise est défini en annexe 4.*

- Q9.** Pour le premier jour choisi à la question précédente, établissez le planning journalier de l'équipe GO affectée aux voiles en précisant chronologiquement la nature des tâches effectuées.
Horaires de travail effectif: 8h30 - 12h00 ; 13h00 -16h30.

Ci-après, l'extrait du DCE lié à l'installation et l'aménagement de chantier :

4.1 AMÉNAGEMENT DE CHANTIER

Aménagement complet comprenant notamment :

- *Installation de la grue*
- *Amenée et repliement du matériel de fabrication.*
- *Aménagement des locaux de chantier (sanitaires, vestiaire, réfectoire, bureau de chantier, salle de réunions).*
- *Fourniture et mise en place du panneau de chantier ainsi que des dispositifs de*
- *Dispositifs de protection et de sécurité de la circulation des personnes et des véhicules.*
- *Les réseaux provisoires nécessaires au chantier (eau, électricité, branchement à l'égout).*
- *Voirie de chantier et aire de lavage des véhicules, avec évacuation des eaux.*
- *La protection du site (l'entreprise devra assurer la surveillance du chantier).*
- *Aménagement de zones de stockage.*
- *Aménagement de recettes équipées de garde-corps amovibles pour approvisionnement des étages, à chaque étape, à l'avancement.*
- *Bennes pour gravats (évacuées, selon nécessité) gestion au présent lot pour toute la durée du chantier.*
- *Les aménagements et les installations d'hygiène, de sanitaires et de sécurité, seront conformes au Code du Travail, au Décret du 08 janvier 1965 et textes d'applications à la loi du 31 décembre 1993 et au Décret n° 94-1159 du 26 décembre 1994.*

Localisation : pour l'ensemble de l'opération, selon Plan Général de Coordination Sécurité et de Protection de la Santé.

Extrait du PGC :

Des vestiaires et sanitaires séparés seront aménagés pour le personnel féminin, en cas de besoin.

Ces installations devront pouvoir accueillir, pendant toute la durée de la phase, 10 personnes en pointe.

- Q10.** A partir des données précédentes et des informations de l'annexe 5, il vous est demandé, en considérant une installation indépendante pour ce lot 8, de compléter le plan d'installation de chantier du **DR2** en précisant et justifiant tous les éléments à mettre en place (grue, aires de stockage, locaux de chantier, réseaux, clôtures et portails, bennes). La justification du choix et du dimensionnement de l'engin de levage est attendue.

Partie 2 : Confort thermique, hygrothermique et acoustique du bâtiment

Positionnement et objectif de la partie

En tant qu'ingénieur dans un bureau d'études thermiques, dimensionner l'enveloppe et les équipements assurant les confort acoustique, respiratoire et hygrothermique du bâtiment. Justifier auprès du maître d'ouvrage les choix technologiques retenus ou proposés.

2.1. Analyse environnementale

Avec l'essor de la construction durable, de plus en plus d'opérations immobilières mettent en place des programmes environnementaux. C'est le cas de ce bâtiment qui doit respecter la norme NF Habitat démarche HQE. L'objectif de cette partie est de vérifier certains points issus de cette norme et d'analyser l'impact du site sur le confort des occupants.

2.1.1. Potentialité du site

Ressources :

- Annexe 1 : Plans d'architecte
- Annexe 6 : Données solaires

L'analyse du potentiel solaire est un levier important pour garantir la possibilité d'une conception bioclimatique des bâtiments et également envisager le recours à des systèmes solaires actifs.

Le promoteur immobilier avait le choix entre deux terrains pour implanter ce projet immobilier, le site "38-1" et le site "38-2".

- Q11.** A partir de l'Annexe 6, relevez les heures d'apparition et de disparition du soleil en prenant en compte les masques d'horizon, au mois de juin, mars et décembre pour chaque site.
- Q12.** Déduisez, en utilisant l'annexe 6.C., la durée d'ensoleillement effectif pour chaque façade avec prise en compte des masques, pour les mois de juin, mars et décembre et pour chaque site.
- Q13.** Sur les conseils du bureau d'études, le choix s'est finalement porté sur le site "38-2". Que pensez-vous de ce choix ? Proposez une analyse argumentée au regard des calculs précédents.

2.1.2. Acoustique des façades

Ressources :

- Annexe 7 : Classement sonore du site d'implantation du bâtiment
- Annexe 8 : Détermination de l'isolement acoustique minimal des bâtiments d'habitation contre les bruits des transports terrestres
- Annexe 1 : Plans d'architecte

Le bâtiment est situé dans un secteur affecté par le bruit des transports routiers. On se propose de vérifier l'isolement acoustique du séjour/cuisine de l'appartement n°101 au premier étage.

L'isolement normalisé d'une façade au bruit aérien par référence à un trafic routier se calcule à l'aide de la formule suivante :

$$D_{nT,A,tr} = R_{eq} + 10 \log \left(\frac{A_{local}}{S_{façade}} \right) + 10 \log \left(\frac{T_r}{0,5} \right) \text{ en dB}$$

Avec :

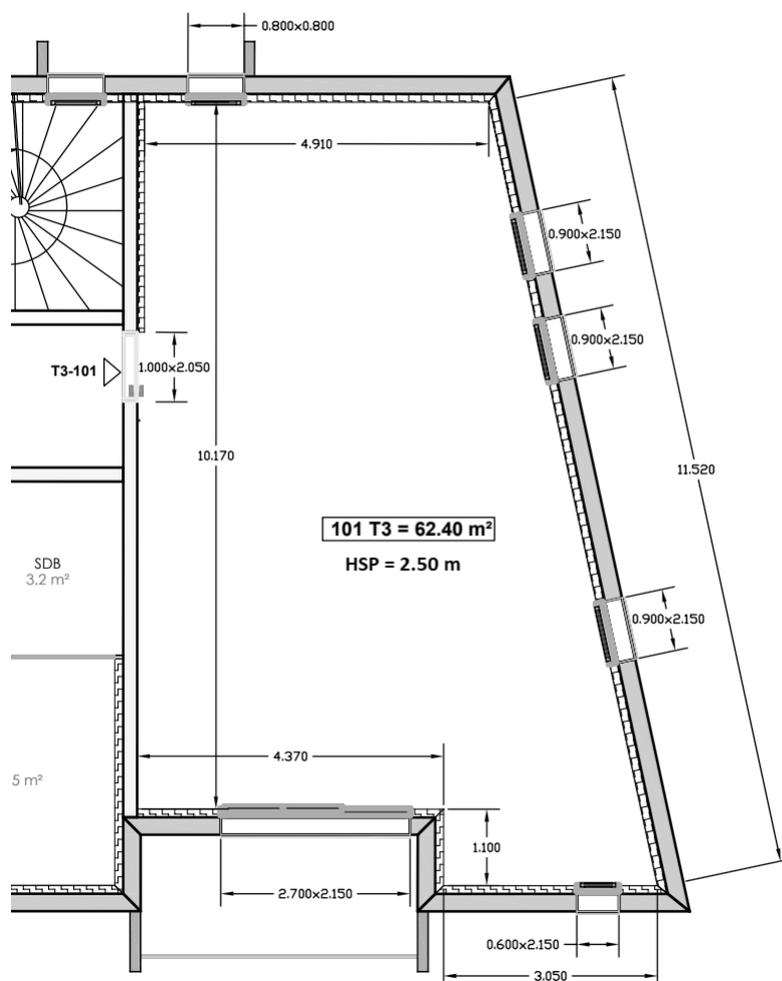
- R_{eq} , l'indice d'affaiblissement de la paroi en dB (moyenne pondérée par les surfaces des coefficients de transmission de chacun des composants de la paroi) :

$$R_{eq} = -10 \log \left(\frac{\sum_i S_i \cdot 10^{\frac{-R_i}{10}}}{S_{tot}} \right)$$

- A_{local} , l'aire d'absorption équivalente du local en m^2

$$A_{local} = 0,16 \cdot \frac{V}{T_r}$$

Où V est le volume du local en m^3 et T_r son temps de réverbération en s.



Q14. Après avoir déterminé la catégorie des infrastructures bruyantes à proximité des différentes façades, évaluer l'isolement minimal à respecter, $D_{nT,A,tr \min}$ en dB pour la (ou les) façade(s) impactée(s). Les transmissions latérales seront négligées.

Q15. Calculer l'indice d'affaiblissement R_{eq} de la (ou des) façade(s) impactée(s). Le tableau ci-dessous fournit les indices $R_{A,tr}$ des différents éléments composant les murs de façade.

Eléments	$R_{A,tr}$ (dB)
Menuiserie avec entrée d'air et coffre de volet roulant	30
Paroi opaque (béton cellulaire + laine de verre)	46

Q16. En déduire le $D_{nT,A,tr}$ pour la (les) façade(s) impactée(s) et conclure quant au confort acoustique de l'appartement n°101 vis-à-vis du bruit des transports routiers. On considèrera un temps de réverbération $T_r=0,6$ s pour le séjour-cuisine de cet appartement.

2.1.3. Qualité de l'air intérieur

Ressources :

Annexe 9 : Données relatives à la QAI des appartements n°102 et 103 (relevés de mesures et extraits du rapport Diagvent2)

Annexe 10 : Extraits de l'avis technique de la VMC Hygro B installée dans le bâtiment

La qualité de l'air intérieur (QAI) constitue une thématique de santé environnementale dont l'enjeu sanitaire n'est désormais plus à démontrer.

Le programme environnemental du bâtiment étudié prévoit :

- la mise en place de produits de construction et de revêtements intérieurs étiquetés A, au sens de l'arrêté du 19 avril 2011 ;

- la vérification de la qualité du renouvellement d'air dans les logements à la livraison du bâtiment.

Le tableau ci-dessous fournit les valeurs réglementaires et valeurs indicatives pour quelques polluants.

Polluant	Valeurs réglementaires ou indicatives
CO ₂	1000 ppm
Dioxyde d'azote	20 µg/m ³
Composés organiques volatiles	
Formaldéhyde	2015 : 30 µg/m ³ / 2023 : 10 µg/m ³
Benzène	2 µg/m ³

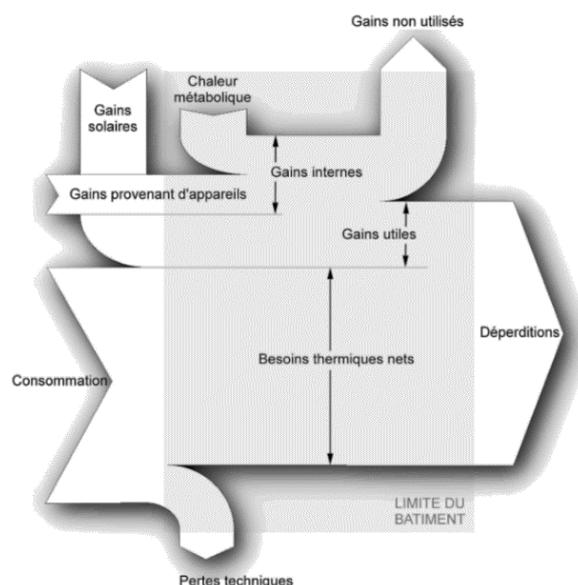
Q17. Citez les principaux polluants de l'air intérieur d'un logement ainsi que leur origine.

Q18. A partir des données en Annexes, analyser la QAI des appartements n°102 et 103. Que préconiseriez-vous dans chaque cas afin d'améliorer la QAI.

2.2. Analyse du confort hygrothermique

La simulation thermique dynamique (STD) est très utile en phase de conception d'un projet de construction, afin de valider les objectifs de consommation et d'optimiser le choix des matériaux. Elle permet de simuler le comportement du futur bâtiment au plus près de la réalité. Pour cela, la STD simule au pas de temps horaire le métabolisme du bâtiment en fonction de la météo du site, de l'occupation des locaux, des scénarios de ventilation, ... et fournit les températures, les besoins de chauffage/climatisation, les apports solaires, ... heure par heure dans les différentes zones prédéfinies du bâtiment. Le logiciel de STD peut également fournir un bilan d'énergie en hiver sous la forme du diagramme de Sankey ci-contre.

Les "besoins nets" (ou utiles) à fournir pour assurer le chauffage du bâtiment étudié sont calculés en tenant compte des apports par les occupants (métabolisme), par l'ensoleillement (apports solaires) et par la chaleur dissipée par les appareils (moteurs, éclairage, ...).



En ce qui concerne le confort d'été, une grande partie des référentiels de démarche environnementale (HQE, QEB, ...) s'accorde sur un nombre d'heures d'inconfort estival correspondant à une limite à ne pas dépasser, soit 40h au-delà de 28°C. Le respect de cette valeur peut être vérifié par la STD. Par ailleurs, deux approches tentent d'aller plus loin. La première consiste à déterminer l'ensemble des couples température/ hygrométrie jugés confortables. La seconde, dite adaptative, corrèle la température intérieure estivale avec la température extérieure. Cette approche se fonde sur l'idée que l'acceptation des conditions de confort n'est pas une constante mais évolue : plus il fait chaud dehors, plus on accepte des températures intérieures élevées. Le diagramme de Brager fourni par la STD permet d'analyser le confort d'été selon cette seconde approche et donne ainsi une image de l'évolution de la température opérative (ou ressentie) du bâtiment (moyenne pondérée entre les températures de l'air ambiant et celle radiante des parois d'un local) en fonction de la température extérieure du moment. Chaque point représente une heure. Lorsque le point est situé entre les deux traits noirs, le confort est assuré.

2.2.1. Généralités

Q19. En quoi l'étude STD diffère-t-elle de l'étude réglementaire RT2012 ?

Q20. Quels sont les avantages de procéder à une STD et à quelle phase du projet cela est-il pertinent ?

On s'intéresse pour les deux parties suivantes aux appartements 202 et 203, situés au niveau 2 du bâtiment.

2.2.2. Confort d'hiver

Ressources :

Annexe 11 : Diagramme de Sankey et extraits de courbes d'évolution des températures issus de la modélisation STD pour l'appartement 202

Annexe 12 : Méthodologie de calcul pour le tracé du diagramme de Glaser

Annexe 13 : Caractéristiques physiques du béton cellulaire et de la laine de verre

Q21. A partir de l'Annexe 11, analysez le confort thermique d'hiver de l'appartement 202. Notamment, comment les gains utiles permettent de diminuer le besoin en chauffage ? Que pensez-vous des apports solaires valorisés pour cet appartement ? Quelles sont les températures de consignes en hiver ? Que pensez-vous des courbes température/humidité dans le séjour-cuisine ?

On s'intéresse maintenant aux possibilités de condensation dans la masse de la paroi de façade. Pour simplifier le calcul, on négligera les parements et on considèrera que la paroi est donc constituée de l'extérieur vers l'intérieur de 25 cm de béton cellulaire ($325 < \rho \text{ [kg.m}^{-3}] < 375$) et de 10 cm de laine de verre. Les conditions d'ambiance sont les suivantes :

- $T_{\text{int}} = 19^{\circ}\text{C}$, $\psi_{\text{int}} = 55\%$
- $T_{\text{ext}} = 0^{\circ}\text{C}$, $\psi_{\text{ext}} = 90\%$

Et les résistances thermiques superficielles valent :

- $r_{\text{si}} = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$
- $r_{\text{se}} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$

Q22. A l'aide des Annexes 12 et 13, tracez le diagramme de Glaser pour cette paroi de façade. Déduisez-en les risques de condensation dans la masse de la paroi.

Q23. Quelles sont les conséquences en cas de condensation dans la masse ? Quelle(s) solution(s) technique(s) préconisez-vous ? Comment celle-ci impactera le diagramme de Glaser tracé précédemment (tracez-en une allure) ?

2.2.3. Confort d'été

Ressources :

Annexe 14 : Courbes et données pour l'analyse du confort d'été des appartements 202 et 203

Q24. A partir de l'annexe 14, analysez le confort d'été pour chaque appartement.

Q25. Le cas échéant, proposez des protections solaires adaptées à chaque pièce, en fonction de son orientation.

2.3. Analyse de l'étude RT2012 de l'immeuble - Exigences de moyens

La RT2012 impose le respect d'un certain nombre d'exigences de moyens. L'objectif de cette partie est d'en vérifier certaines d'entre elles.

Ressources :

Annexe 1 : Plans d'architecte

Annexe 15 : Extraits de l'étude thermique

2.3.1. Surfaces vitrées

La RT2012 impose une surface de vitrages supérieure ou égale à 1/6 de la surface habitable.

Q26. Quel est selon vous l'intérêt de cette exigence ?

Q27. Le bâtiment étudié la respecte-t-elle ?

2.3.2. Ponts thermiques

En ce qui concerne les ponts thermiques, les exigences sont les suivantes :

- le ratio de transmission thermique linéique moyen global des ponts thermiques du bâtiment doit être inférieur ou égal à $0,28 \text{ W}/(\text{m}^2_{\text{SRT}}.\text{K})$.

- le coefficient de transmission thermique linéique moyen ψ_9 des liaisons entre les planchers intermédiaires et les murs donnant sur l'extérieur ou un local non chauffé, doit être inférieur ou égal à $0,60 \text{ W/(m.K)}$.

Q28. Qu'est-ce qu'un pont thermique ? Etayez vos propos, notamment avec l'exemple d'un angle sortant tel que ci-dessous :

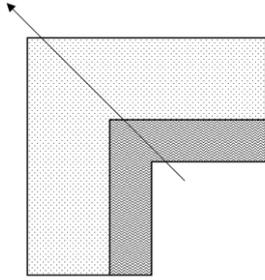


Figure 1 : pont thermique d'un angle sortant

Q29. A l'aide de l'Annexe 15, vérifiez que le bâtiment respecte les exigences de moyens sur les ponts thermiques.

Q30. Comment selon vous peut-on vérifier le bon traitement des ponts thermiques à l'achèvement des travaux ?

2.3.3. Etanchéité à l'air

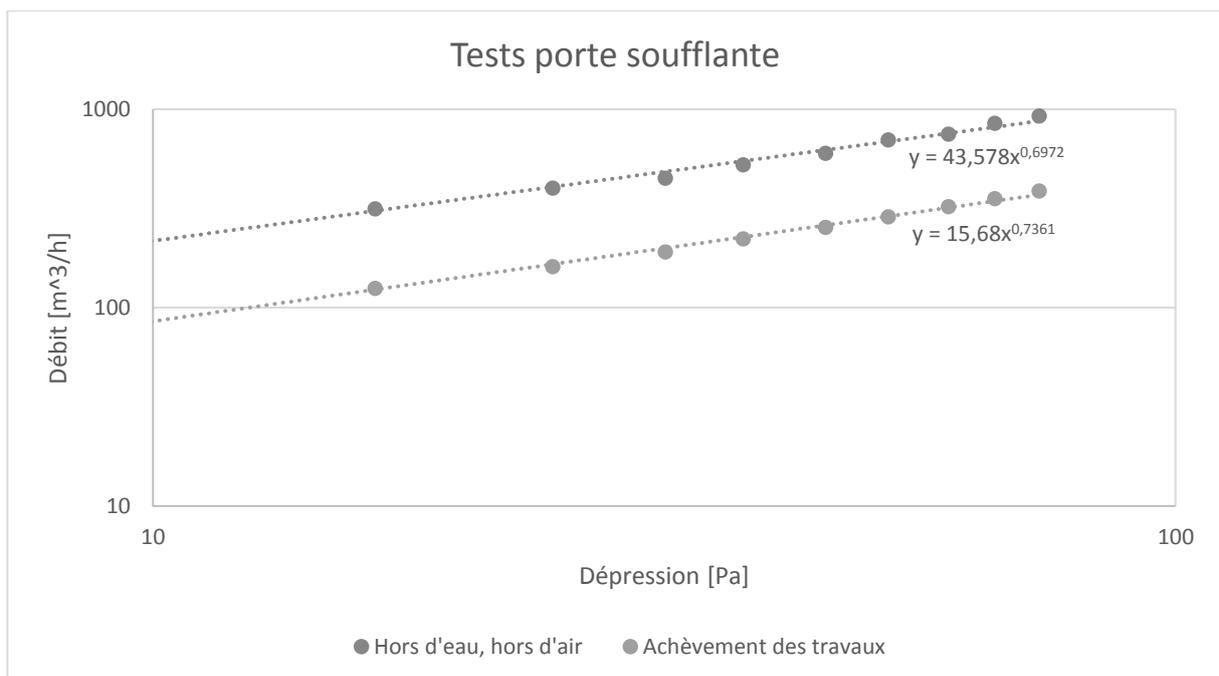
Étancher un bâtiment consiste à éliminer toutes les fuites d'air parasites au travers de l'enveloppe. Elle permet de tirer de nombreux bénéfices en termes :

- de confort thermique, respiratoire et acoustique des occupants ;
- d'impact énergétique ;
- de conservation du bâti.

Pour un bâtiment résidentiel collectif, la RT2012 impose le débit de fuite sous une dépression de 4 Pascals divisé par la surface de parois froides déperditives (hors plancher bas) :

$$q_{4Pa-surf} \leq 0,8 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1} \text{m}^{-2}$$

L'appartement test pour quantifier l'étanchéité à l'air de ce bâtiment est le n°101 du niveau 1. La figure ci-dessous donne les résultats des tests à la porte soufflante réalisés en phase hors d'eau, hors d'air et à l'achèvement des travaux.



Q31. Calculez le débit $q_{4Pa-surf}$ pour les deux cas. Commentez les résultats.

- Q32.** La ventilation du bâtiment est une simple-flux HygroB. Expliquez ce que cela signifie. Ce choix vous semble-t-il pertinent pour ce bâtiment ?
- Q33.** Après avoir positionner les entrées d'air et bouches d'extraction aux endroits adéquats, dessinez sur le document-réponse **DR3** les flux d'air dans l'appartement dans le cas d'une bonne étanchéité à l'air (en bleu) et d'une mauvaise étanchéité à l'air de l'ensemble des menuiseries de cet appartement (en rouge). Expliquez l'impact de cette mauvaise étanchéité sur chacun des bénéfices attendus cités en début de partie.
- Q34.** Quelle(s) solution(s) correctrice(s) proposeriez-vous pour remédier à ce problème d'étanchéité à l'air ?

2.4. Analyse de l'étude RT2012 de l'immeuble - Exigences de résultats

La RT2012 impose le respect de trois exigences de résultats :

- B_{bio} , qui représente conventionnellement les besoins nets en énergie du bâtiment pour les 3 postes : chauffage, rafraîchissement, éclairage. Ces besoins ($B_{chauffage}$, $B_{refroidissement}$ et $B_{éclairage}$) sont calculés en $kWh_{EU}/m^2(S_{RT})/an$. B_{bio} s'exprime en points et dépend uniquement du bâtiment, indépendamment des équipements. Il est donc influencé par la localisation, l'orientation, les matériaux de construction, les surfaces de vitrages.

$$B_{bio} = 2.B_{chauffage} + 2.B_{refroidissement} + 5.B_{éclairage} \leq B_{bio_{max}}$$

- C_{ep} , qui représente conventionnellement la consommation d'énergie primaire du bâtiment sur l'année ; l'unité utilisée est le $kWh_{EP}/m^2_{SRT}/an$. Le calcul prend en compte les 5 postes de consommation (chauffage, rafraîchissement, eau chaude sanitaire, éclairage, auxiliaires).

$$C_{ep} = C_{ep_{ch}} + C_{ep_{fr}} + C_{ep_{écl}} + C_{ep_{ECS}} + C_{ep_{aux}} - PV_{12kWh_{ep}/m^2/an} \leq C_{ep_{max}}$$

Avec : $PV_{12kWh_{EP}/m^2/an} = 12 kWh_{EP}/m^2(S_{RT})/an$ en présence de production électrique sur site (énergie photovoltaïque, éolienne, etc.).

On rappelle la relation permettant la conversion de l'énergie consommée en énergie primaire pour chacun des postes de consommation :

$$C_{ep} = 2,58.C_{élec} + 0,6.C_{bois} + 1.C_{autre}$$

- T_{ic} , qui représente la température conventionnelle en été. Le calcul de cette température s'effectue sur les 5 jours consécutifs d'été les plus chauds. Elle ne doit pas dépasser une certaine limite $T_{ic_{réf}}$, laquelle dépend de la zone climatique et de l'usage du bâtiment.

2.4.1. Analyses de variantes d'isolation

Ressources :

Annexe 13 : Caractéristiques physiques du béton cellulaire et de la laine de verre

Annexe 15 : Extraits de l'étude thermique

Le constructeur propose deux solutions d'isolation : 1 « normale », correspondant aux déperditions calculées en Annexe 15 et 2 « économique ». La solution 2 « économique » correspond au retrait de 6 cm d'isolant sur tous les murs de façade. Les apports gratuits sont les mêmes pour les deux solutions et valent 15000 kWh.

La puissance d'éclairage installée est de 2 W/m² habitables, avec une durée de fonctionnement de 1200 h/an.

- Q35.** Calculez le coefficient de transmission surfacique U en $W.m^{-2}.K^{-1}$ des murs de façade pour la solution 2. En déduire les déperditions totales de cette solution en [W/K]. L'influence du retrait d'isolation sur les ponts thermiques sera négligée.
- Q36.** Calculez les besoins en chauffage nets pour chaque solution en [$kWh_{EU}.m^{-2}.an^{-1}$], sachant que les besoins en chauffage nets correspondent aux besoins bruts auxquels on retranche les apports gratuits.
- Q37.** En déduire le B_{bio} pour les solutions d'isolation 1 et 2. Quel(s) solution(s) est (sont) conforme(s) à la RT2012, du point de vue du B_{bio} , sachant que $B_{bio_{max}}$ vaut 72 points.

2.4.2. Analyses de variantes d'équipements

Ressources :

Annexe 16 : Fiche technique de la PAC air/eau

Pour la suite on retiendra la solution 1.

Les besoins en eau chaude sont de 35 litres par jour et par personne à une température de 52,5°C, la température de l'eau du réseau d'eau froide est donnée dans le document-réponse **DR4**.

Pour les systèmes de production de chaleur et d'ECS, 3 variantes sont proposées.

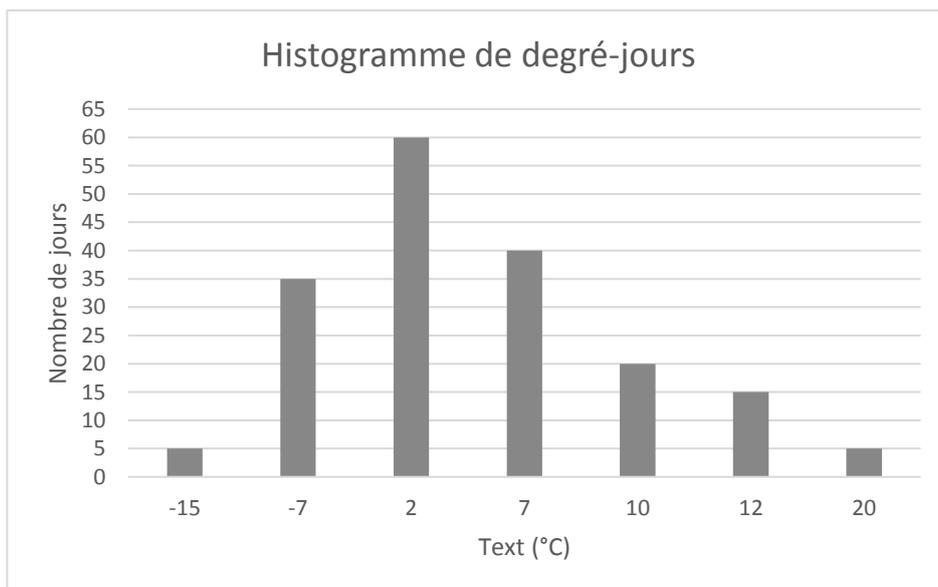
- A : Tout gaz : chaudière gaz à condensation fonctionnant à un régime basse température 35-45°C pour le chauffage, associée à une production d'ECS instantanée (rendement certifié : 97%)
- B : Chauffage gaz + ECS solaire (taux de couverture à définir) avec appoint gaz pour l'ECS : même chaudière que solution A.
- C : Chauffage PAC air/eau + ECS électrique

La puissance des auxiliaires et leur durée de fonctionnement dépendent du système de chauffage (voir tableau ci-dessous).

Consommation des auxiliaires		
Type	Puissance	Durée de fonctionnement
Ventilation + autres	65 W	continu
Circulateur chaudière	25 W	période de chauffe (180 jours)
Circulateur ECS solaire	15 W	12h/jour toute l'année
Circulateur PAC	25 W	période de chauffe (180 jours)

Q38. Dans le cas de l'installation d'ECS solaire, 6 capteurs solaires thermiques de surface d'entrée 2,3 m² sont installés et le rendement global de l'installation capteurs + ballon vaut 0,70. Déterminez les besoins en ECS et le taux de couverture solaire de cette installation en remplissant le **DR4**. On considèrera que l'inclinaison des capteurs par rapport à la course du soleil réduit le rayonnement reçu de moitié.

Q39. La PAC air/eau fonctionne à un régime basse température 35-45°C pour le chauffage. L'histogramme des degré-jours pour la saison de chauffe est donné à la figure ci-dessous. A partir de l'Annexe 16, déterminer le COP saisonnier de la PAC, sachant que la PAC envisagée est la AWO 302.A60.



Q40. Calculez les consommations en énergie finale pour le chauffage, l'ECS, l'éclairage et les auxiliaires pour les différentes variantes A, B et C. La puissance d'éclairage installée est la même que dans la partie 2.4.1.

Q41. Calculez les consommations en énergie primaire pour tous ces postes. Déterminez quelle(s) solution(s) permet(tent) d'obtenir la conformité à la RT 2012 du point de vue du Cep, sachant que C_{EPmax} vaut $69 \text{ kWh}_{EP} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{an}^{-1}$. Remplir le document-réponse **DR5**.

Q42. Quelle solution retiendriez-vous ? Argumentez votre choix.

2.4.3. Analyse économique et labels

Ressources :

Annexe 17 : Tarif des énergies et émissions de GES

Annexe 18 : Méthode de calcul pour l'indicateur BEPOS du label E+/C-

Afin d'affiner l'étude de faisabilité, le maître d'ouvrage demande une analyse économique et la possibilité d'obtenir un label qui sera plus vendeur pour le bâtiment. Le BE thermique propose ainsi une nouvelle variante associant chaudière gaz à condensation + ECS solaire et VMC double-flux, permettant d'obtenir les niveaux de performances ci-dessous.

Poste	C_{EF} ($\text{kWh}_{EF} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{an}^{-1}$)	C_{EP} ($\text{kWh}_{EP} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{an}^{-1}$)
Chauffage	20	20
Refroidissement	0	0
ECS	15	15
Eclairage	1,7	4,39
Distr-Ventil	1,5	3,87

Q43. Déterminez le coût d'exploitation annuel ainsi que les émissions de GES en phase exploitation.

Q44. Étudiez la conformité du bâtiment vis-à-vis du label Effinergie+, sachant que ce label préconise notamment une amélioration de l'impact énergétique d'un bâtiment par rapport à la RT2012 de 20% concernant le B_{biomax} et le C_{EPmax} .

Au moment de la conception de ce bâtiment, la future réglementation n'est pas encore complètement définie, mais le label expérimental E+/C- permet d'en dessiner les contours. On y retrouve les notions de B_{bio} , C_{EP} , T_{ic} avec des niveaux d'exigibilité probablement plus contraignants. La liste de ces 3 coefficients déjà connus va s'allonger avec la prise en compte des usages électriques spécifiques (appareils électro-ménagers) via l'indicateur BEPOS, et des émissions de GES à travers une analyse de cycle de vie (ACV).

Le coefficient BEPOS prend donc en compte 6 postes de consommation :

- Chauffage
- Rafraîchissement
- Eau chaude sanitaire
- Auxiliaires
- Éclairage
- Usages spécifiques (consommation comptée de façon forfaitaire)

Le ratio de conversion entre énergie finale et énergie primaire devient nul pour la biomasse qui est considérée comme énergie renouvelable. Ce ratio reste identique à la RT2012 pour les autres sources.

Dans le cadre du label E+/C- on définit 4 niveaux de performance énergétique entre le niveau RT2012 actuel (qui serait un niveau 0) à un bâtiment de consommation annuelle nulle ou négative (niveau 4).

Les seuils des niveaux 1 et 2 ne prennent pas en compte la production d'énergie renouvelable du bâtiment ; à partir du niveau 3 cette production devient obligatoire.

Les émissions de gaz à effet de serre sont prises en compte avec 2 coefficients :

- E_{ges} → émission totale de carbone du bâtiment de la fabrication des matériaux à la déconstruction
- E_{gesPCE} → émission de carbone par la fabrication des produits et équipements

On définit 2 niveaux environnementaux correspondant à 2 seuils pour chacun de ces 2 indicateurs :

- niveau 1 : $E_{ges} \leq E_{gesmax,1}$ et $E_{gesPCE} \leq E_{gesPCE,max,1}$
- niveau 2 : $E_{ges} \leq E_{gesmax,2}$ et $E_{gesPCE} \leq E_{gesPCE,max,2}$

Le tableau ci-dessous fournit les niveaux de performance à atteindre pour le bâtiment étudié concernant le label E+/C-.

Bilan BEPOS _{max} (kWh _{EP} .m ⁻² _{SRT})			
1	2	3	4
130,20	124,20	92,20	0,00
Eges _{max}		Eges _{PCE max}	
1	2	1	2
1 675.54	1 055.54	805.54	755.54

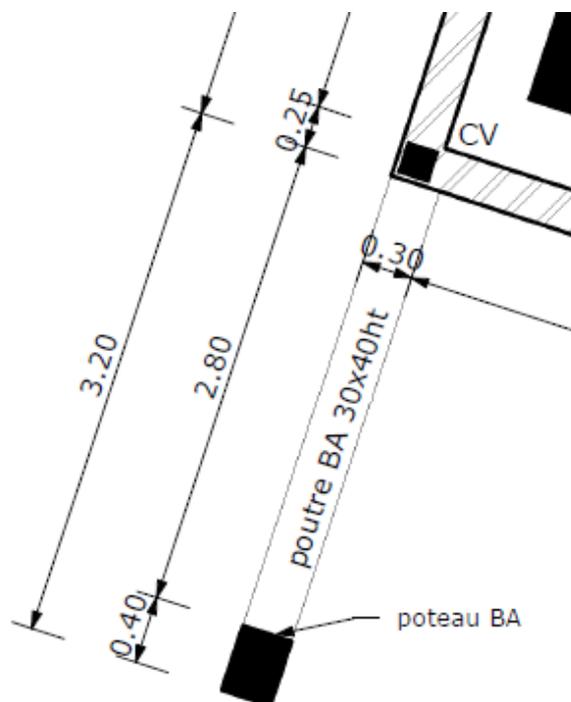
- Q45.** A partir de l'Annexe 18, calculez l'indicateur BEPOS du bâtiment (les 4 places de parking extérieures sont éclairées). Le calcul C- a donné les résultats suivants : $E_{ges} = 1245 \text{ kg}_{eq.CO2}/m^2_{SDP}$ et $E_{gesPCE} = 640 \text{ kg}_{eq.CO2}/m^2_{SDP}$. A quels niveaux d'exigences le bâtiment peut-il prétendre ?
- Q46.** Au vu du travail que vous avez effectué, quels sont les points forts et les points faibles de ce projet concernant son bilan énergétique et environnemental ? Quelles recommandations feriez-vous au maître d'ouvrage ?

Partie 3 : Etude d'éléments de la structure

Positionnement et objectif de la partie

En tant que Responsable du bureau d'études Structure, vous êtes chargé du dimensionnement ou pré-dimensionnement d'éléments de l'ouvrage.

3.1. Le demi-portique BA



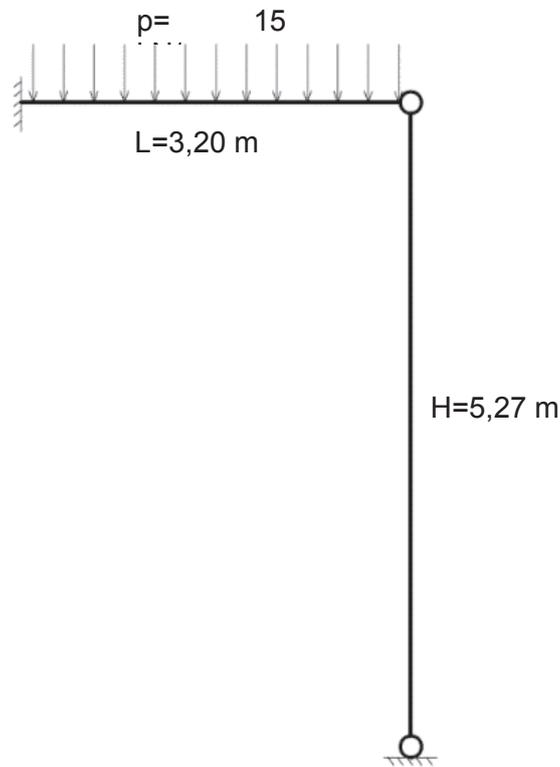
La structure étudiée ne se compose que de la poutre et du poteau en rive du pignon Sud du bâtiment.

Sa simplification plane peut être modélisée selon 3 options qui diffèrent selon les types de liaisons proposées.

Q47. Complétez le **DR6** en déterminant :

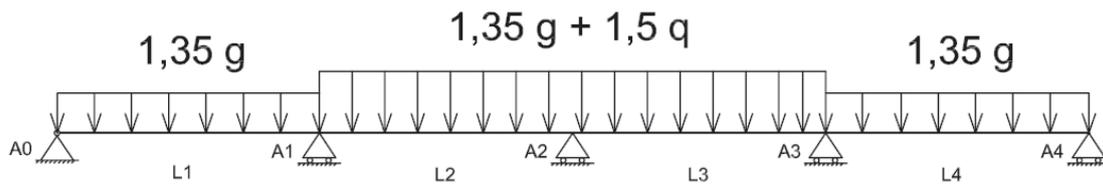
- Le degré d'hyperstaticité.
- Les allures de l'effort tranchant V et du moment fléchissant M sous le chargement simplifié proposé.
- Le principe de ferrailage (représentation des aciers principaux longitudinaux et transversaux)

Q48. Pour le cas 3 de la question précédente, à l'aide des annexes 19 et 20, déterminez la valeur d'effort normal N dans le poteau. Vous justifierez alors les hypothèses émises.



Q49. Pour ce cas de chargement, déterminez et tracez les diagrammes des sollicitations internes pour la poutre, en précisant les valeurs particulières dont les calculs seront à justifier.

Q50. Calculez la section d'armatures longitudinales dans cette poutre (30x40ht) pour $M_u=20$ kN.m (organigramme de calcul en Annexe 21). On considérera un C25/30 et un FeE500B.

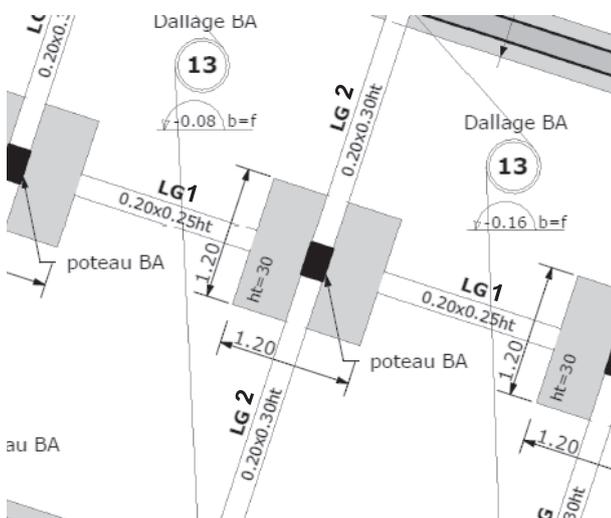


Q54. L'annexe 24 contient l'organigramme de calcul du ferrailage des poteaux rectangulaires et les sections d'acier.

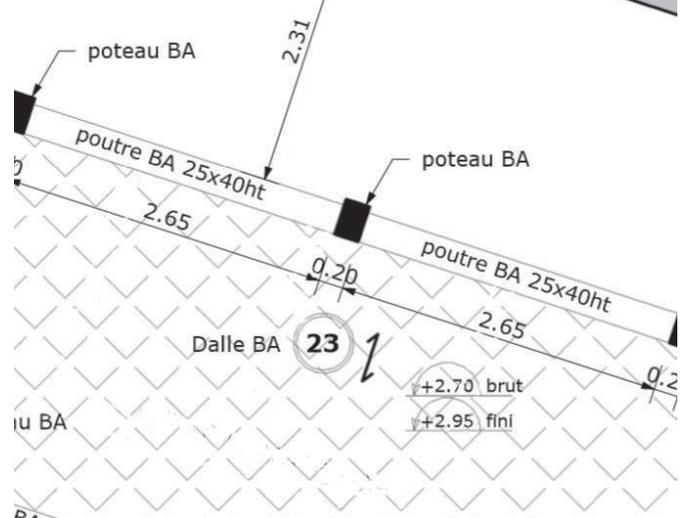
Déterminez le ferrailage du poteau sous A2, avec $N_{ed} = 450$ kN

La hauteur libre du poteau est de 2,85 m (sous poutre à arase supérieure de semelle)

Extrait du plan structure fondations



Extrait du plan structure haut RDC



Q55. Complétez le **DR7** (plan de ferrailage du poteau sous A2) en réalisant le plan de ferrailage complet du poteau. La nomenclature des aciers est demandée.

Q56. Positionnez et repérez sur le **DR7** les longrines LG1 et LG2. Vous justifierez leurs fonctions respectives.