



SESSION 2018

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.

Textes réglementaires :

NF en 1990 Eurocode 0 : Bases de calcul des structures ;

NF en 1991 Eurocode 1 : Actions sur les structures ;

NF en 1992 Eurocode 2 : Calcul des structures en béton ;

NF en 1993 Eurocode 3 : Calcul des structures en acier ;

NF en 1994 Eurocode 4 : Calcul des structures mixtes acier- béton ; Règles TH-Bât .

Dans le cas où un(e) candidat(e) repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il (elle) le signale très lisiblement sur sa copie, propose la correction et poursuit l'épreuve en conséquence.

De même, si cela vous conduit à formuler une ou plusieurs hypothèses, il vous est demandé de la (ou les) mentionner explicitement.

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

Documents fournis :

- Sujet (format A3) : page n°2 à 12
- Annexes (format A3) : page n°12 à 36
- Documents réponse (format A3) : DR1, DR2 et DR3

Avis aux candidats :

Le questionnaire se compose de 5 parties.

Les 5 parties sont indépendantes et doivent être traitées sur des copies séparées et paginées. Les références des questions doivent être clairement indiquées avant chaque réponse.

Tout résultat doit être justifié, le cas échéant illustré par des schémas.

Partie 1 - Étude de quelques choix techniques

Partie 2 - Etude de prix et méthodes de construction

Partie 3 - Approche énergétique

Partie 4 - Poutres mixtes

Partie 5 - Résistance au feu

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

PRESENTATION DU SUPPORT

L'étude proposée portera sur la réalisation d'un bâtiment de bureaux et un bâtiment de logements BBC se situant à Lyon, au sud de la presqu'île, en limite du grand projet de requalification urbaine Lyon-Confluence, en bordure du Rhône et de l'autoroute A7.



Lyon Confluence

ZONE CONCERNEE PAR L'ETUDE

Autoroute A7 qui borde le Rhône

Parcelle du projet



Fig1 : localisation du projet

Le terrain se trouve le long du quai Perrache, au sein d'un îlot constitué essentiellement de logements donnant sur les rues avoisinantes. Cette parcelle de 2882m² est sensiblement rectangulaire, avec une façade est de 57m de long sur le quai. Elle présente néanmoins la particularité de posséder une petite excroissance au nord. C'est dans cette « dent creuse » qu'a été inséré un petit bâtiment de 5 logements en R+4 donnant sur la rue, nommé « la Black Box », avec 425m² de surface de plancher.

Le long du quai Perrache se trouve un bâtiment de bureaux R+6 avec un niveau de sous-sol, nommé « Empreinte », long de 57,75 m et large de 20 m au RdC. Haut de 26m, ce bâtiment présente une surface de plancher de 4895 m². Au centre de ces 2 constructions, un jardin de 1320 m² a été pensé comme un lien fédérateur entre l'ensemble des bâtiments de l'îlot. Cet espace végétalisé se dessine autour d'une fontaine à débordement, que l'architecte a nommé « Rizière », dont l'emprise se situe au-dessus de la zone de parking en sous-sol. Ainsi, la morphologie du bâtiment permet de dégager, à l'arrière un espace paysagé, agrémenté d'essences végétales locales, favorisant l'infiltration naturelle des eaux pluviales. De plus, plusieurs plateaux disposent de terrasses ou de balcons où le bois et la végétation se mêlent pour offrir une véritable valeur ajoutée à cet immeuble de bureau. En particulier, les toitures végétales offrent un confort visuel aux riverains.

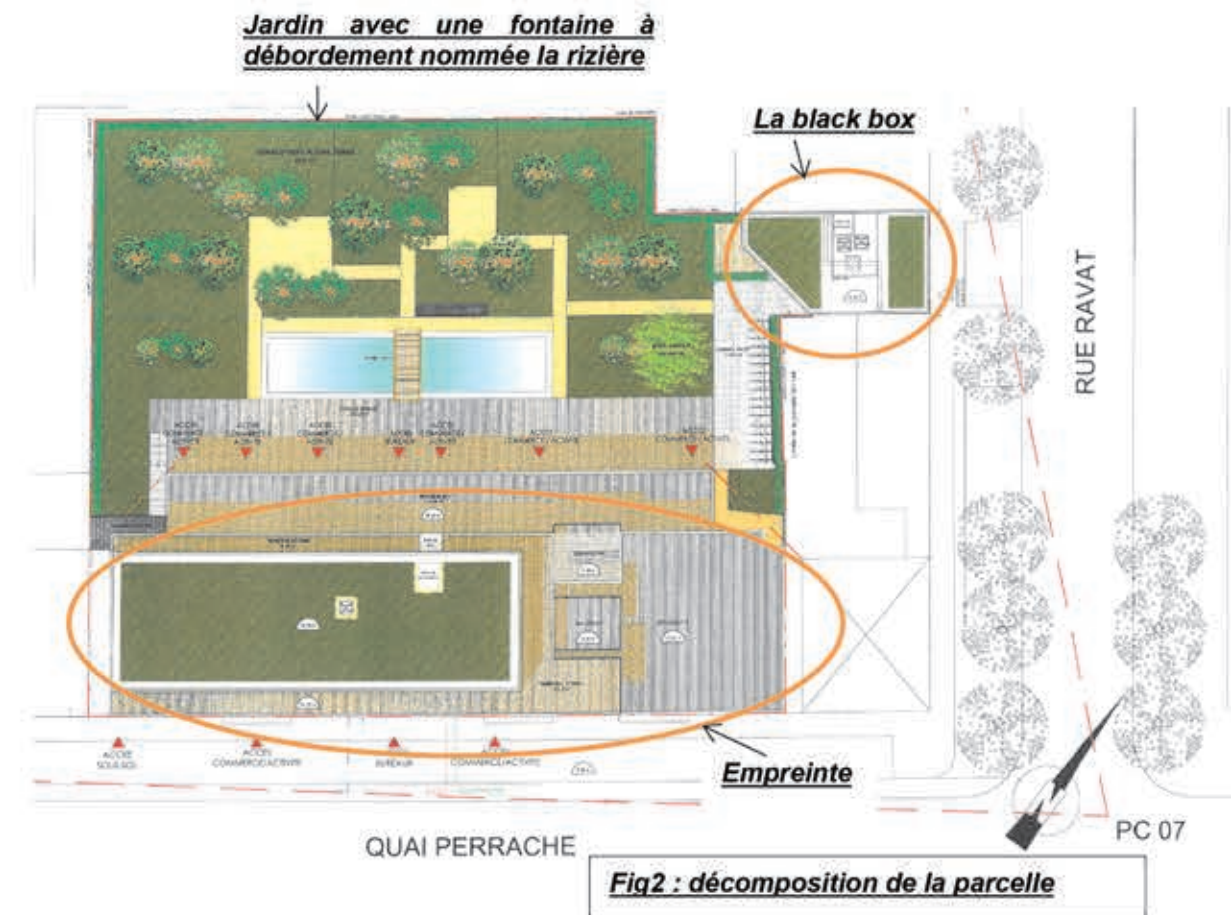


Fig2 : décomposition de la parcelle

Fig3 : coupe transversale - Empreinte

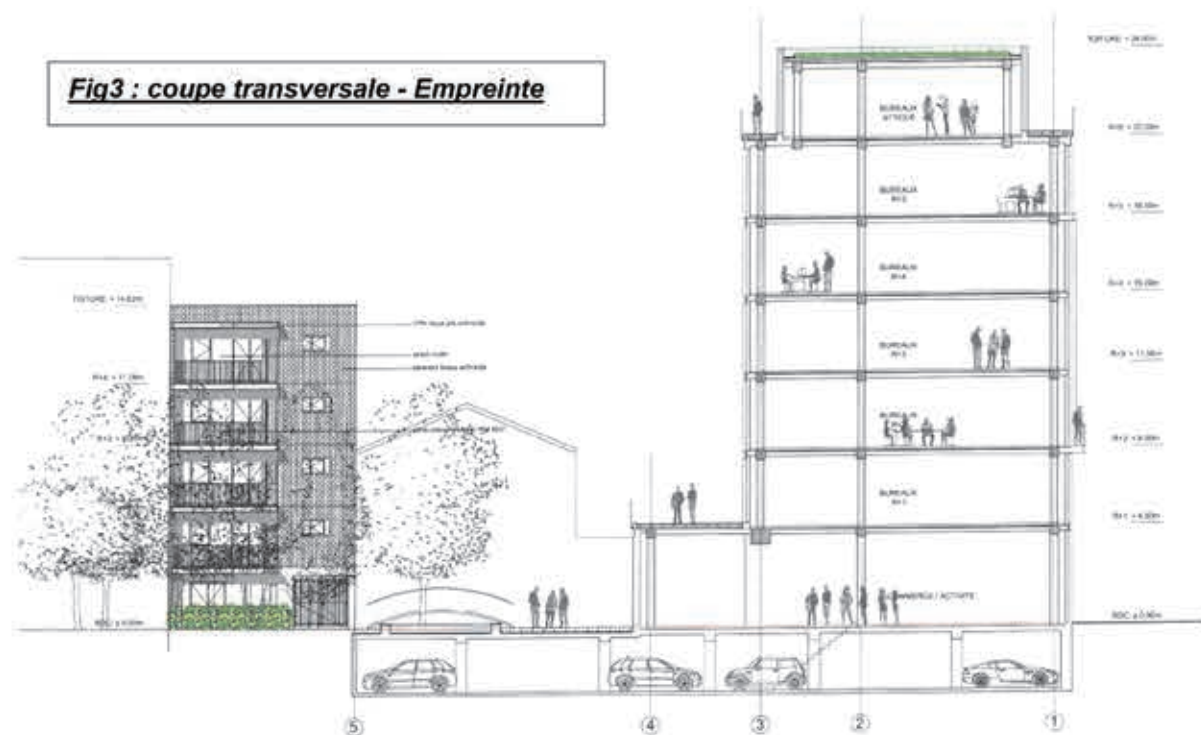


Fig4 : façades

Un des points caractéristiques du projet se situe au niveau du traitement des façades. En effet, chaque façade est composée selon son orientation et son rapport à l'espace public ou privé. La façade Est, urbaine par essence et sa composition est à base des lames « Ressac » en finition inox poli-brillant et de verre. Celle-ci offre une qualité de reflet qui diffère selon la lumière, les saisons, le jour et la nuit.

Tous les châssis vitrés du projet sont en triple vitrage avec stores vénitiens intégrés. Ce choix est particulièrement pertinent pour des questions acoustiques mais également pour le contrôle thermique et solaire.

A l'inverse, la façade Ouest, donnant sur l'espace jardin, est traitée par un parement en ossature bois légère qui vient s'accrocher sur les nez de dalles.



Partie 1 – choix techniques

1.1 - Joint de dilatation

Sur le plan masse ci-dessous, se trouve l'emplacement d'un joint de dilatation entre les files F et F' et que vous pouvez également visualiser sur les plans fournis en annexe 1.

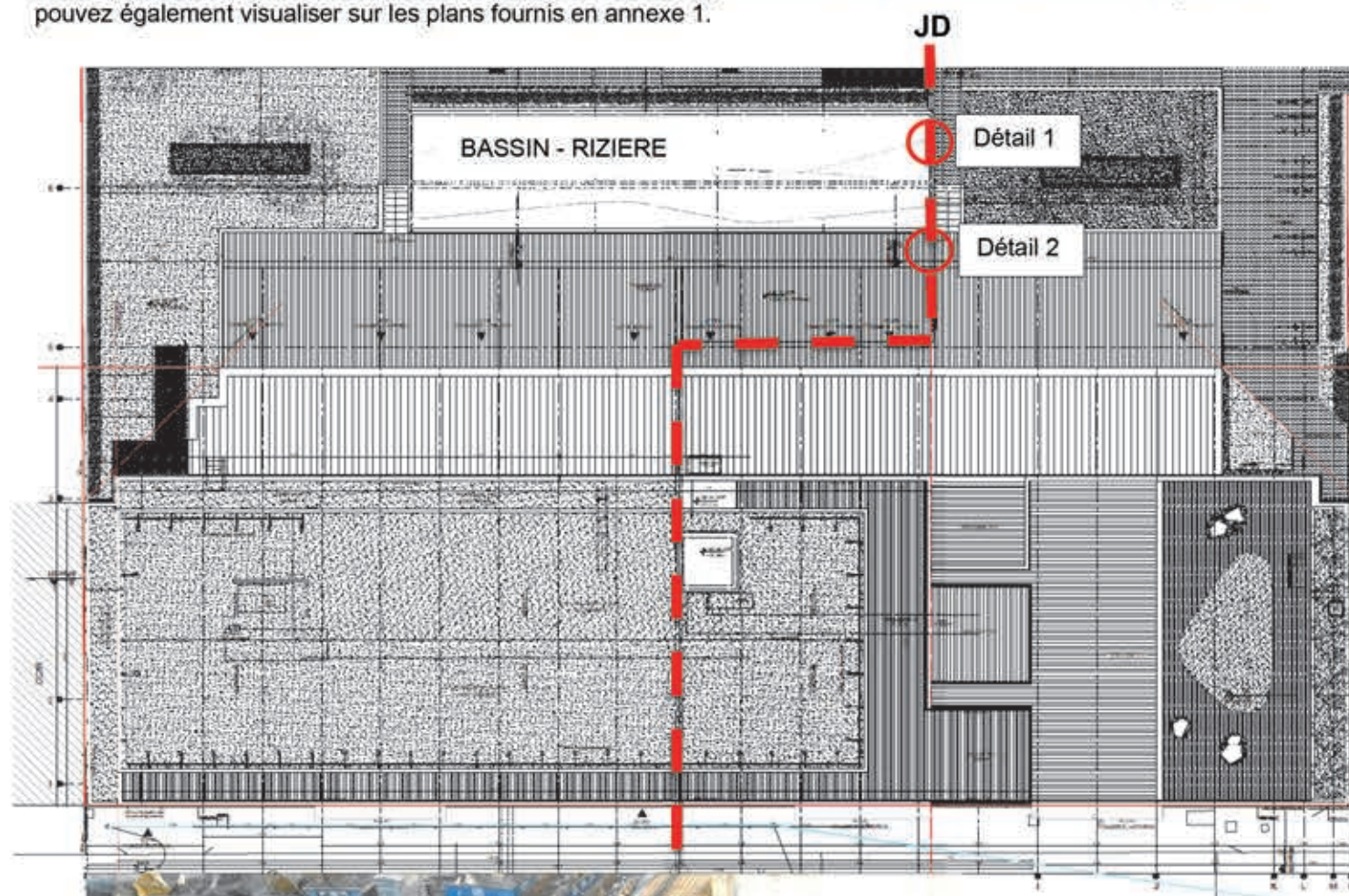
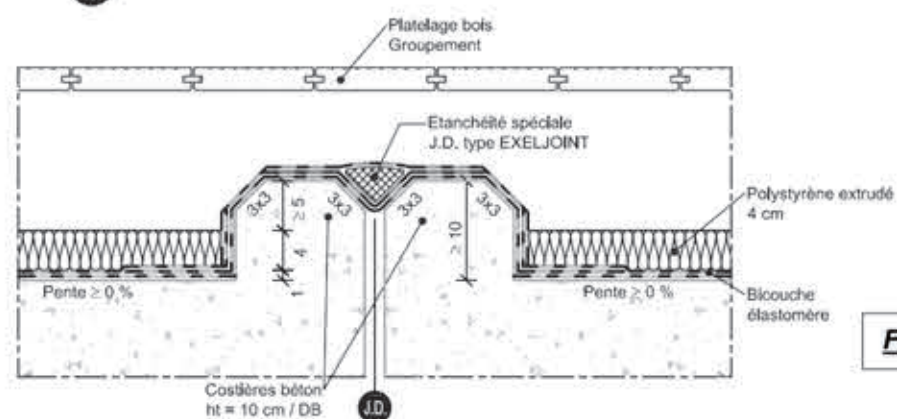
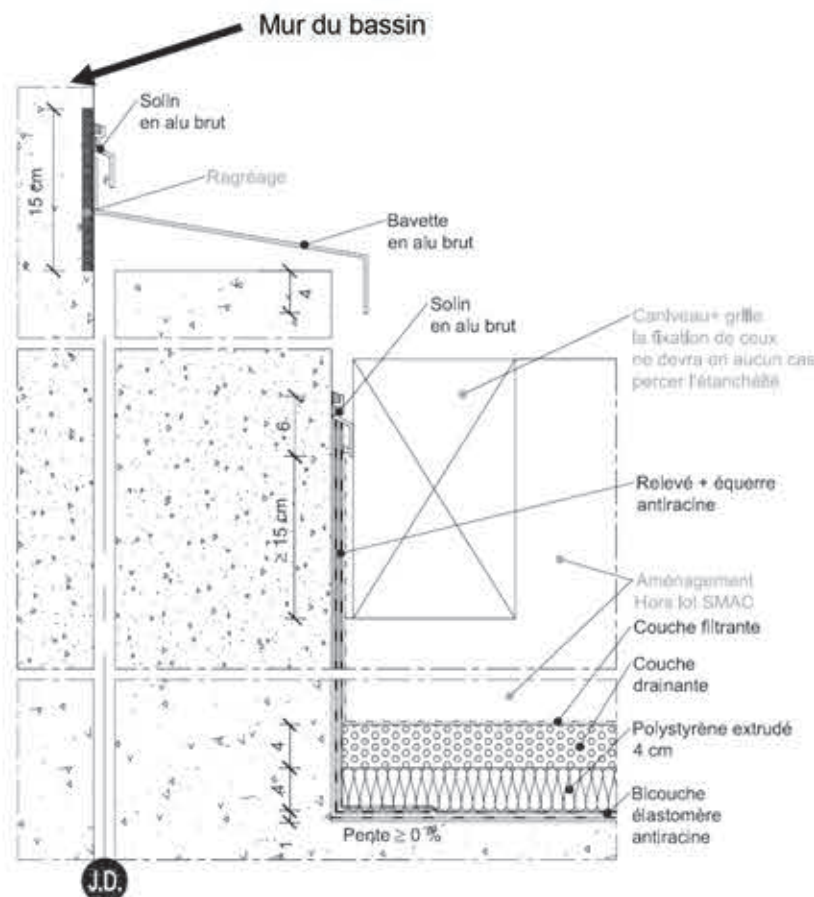


Fig5 : position du joint de dilatation sur le plan masse



Joint de dilatation sur la partie terrasse du RdC



Le joint de dilatation est présent à tous les étages y compris dans les élévations du sous-sol, mais pas au niveau du radier.

Q1 - Expliquer le rôle de ce joint de dilatation et justifier sa forme et son positionnement au sein du bâtiment de bureaux tant en plan qu'en élévation. En particulier, vous expliquerez la nécessité de ce joint au niveau du plancher haut du sous-sol et dans l'élévation du sous-sol.

1.2 - Réalisation des élévations du sous-sol

Le bâtiment support de notre étude se trouve au sein d'un îlot bâti, et de ce fait, la plupart des façades en pignon sont positionnées à proximité de murs mitoyens existants. Il a donc été nécessaire de réaliser des reprises en sous œuvre et des murs de soutènement pour la réalisation de l'infrastructure. Vous pouvez vous référer à l'annexe 3 relative au blindage.

Q2 – Préconiser des solutions techniques pour la réalisation des voiles mitoyens pour la partie infrastructure de ce bâtiment.

Vous proposerez plusieurs techniques envisageables avec pour chacune d'elles :

- la description des étapes principales de réalisation,
- la liste des matériels principaux nécessaire à la réalisation,
- les avantages et inconvénients de chaque technique **du point de vue de l'organisation du chantier.**

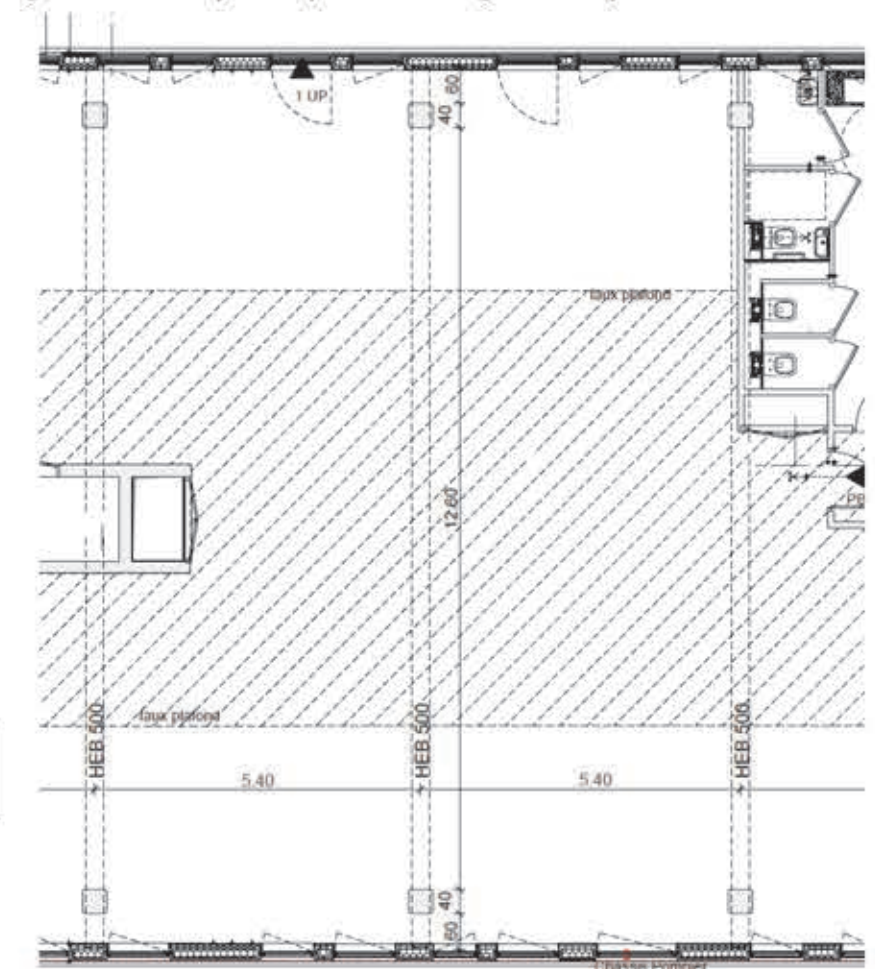
1.3 - Désenfumage du sous-sol

Au sous-sol se trouve un parking de 69 places, dont 18 réservées aux véhicules électriques. Des extraits de l'arrêté du 9 mai 2006 modifié le 4 novembre 2009 sont placés en annexe 4.

Q3 – Proposer un système de ventilation à mettre en place et le dimensionner pour ce niveau de sous-sol. Vous mettrez en avant les différents critères de choix.

1.4 - Porteurs horizontaux des étages courants et réalisation du RDC

En annexe 1, vous trouverez un plan d'étage courant. Le système porteur envisagé est un système de dalle sur poutres et poteaux.

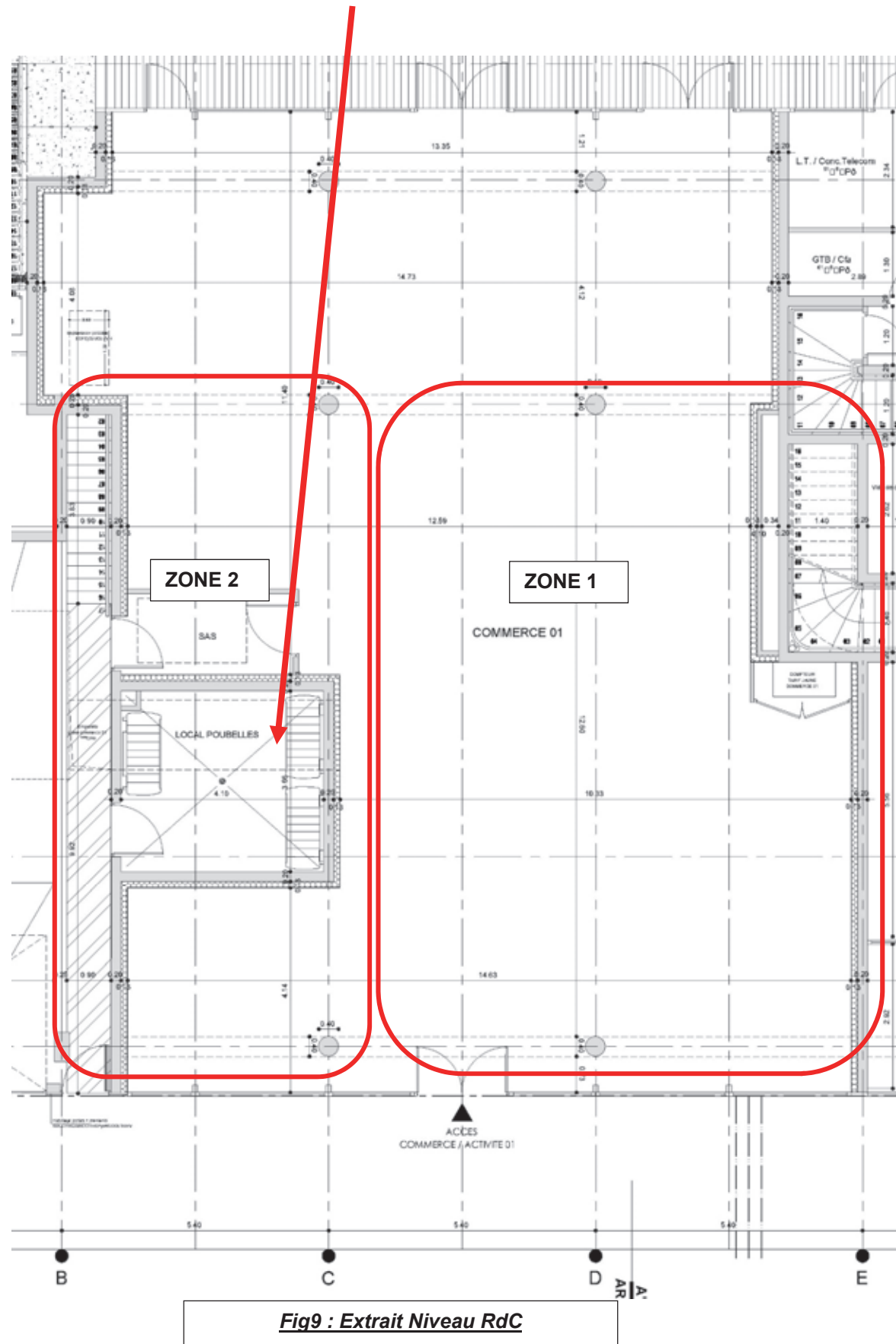


Les poutres mises en place sont en acier sur des poteaux en béton-armé.

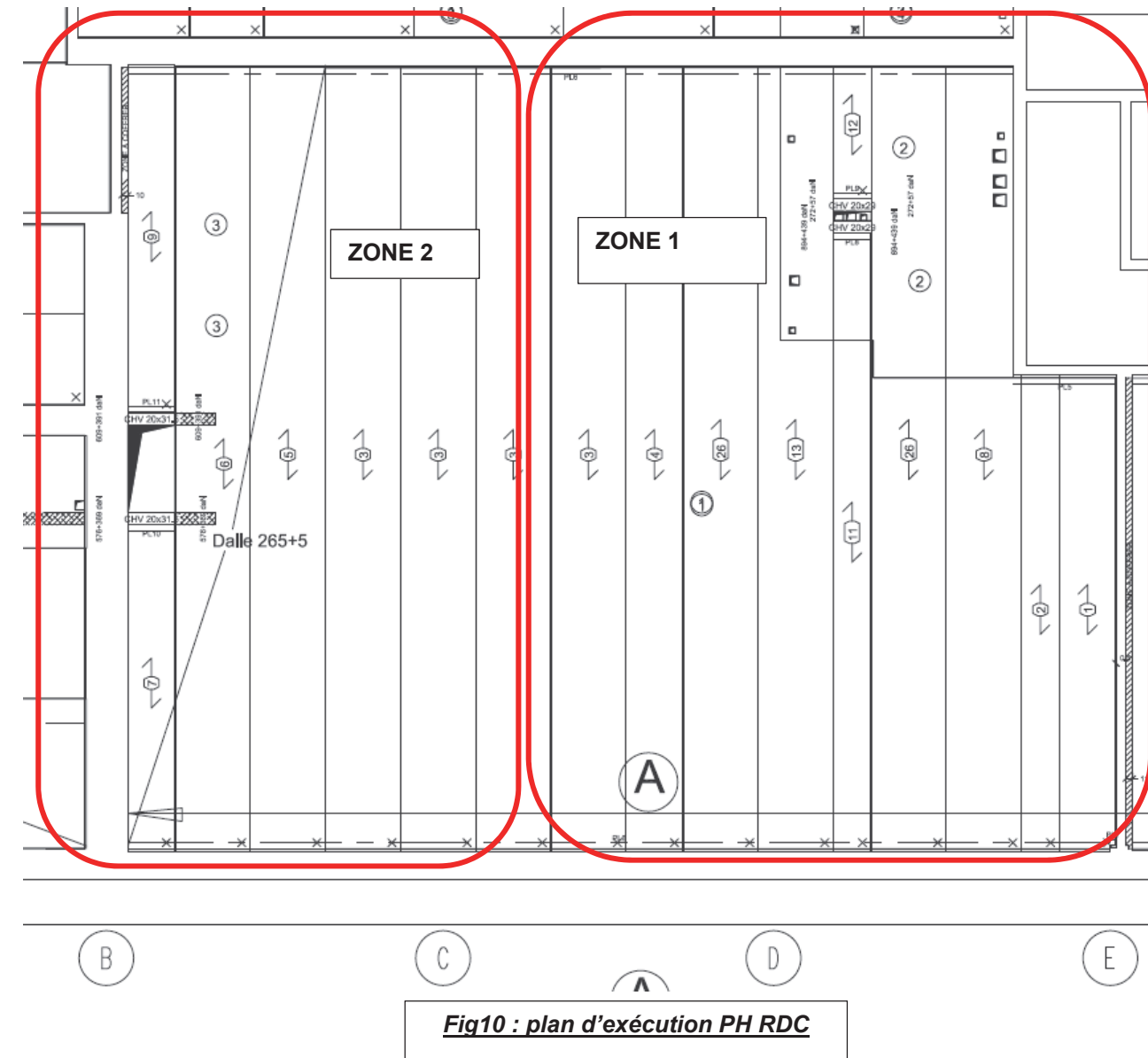
Q4 – Justifier, par des règles de pré dimensionnement rapides, le choix du concepteur qui a opté, pour la réalisation des poutres, pour le matériau acier plutôt que pour un autre matériau de structure.

Vous pourrez vous aider de l'annexe 5

Sur le plan d'architecte du RDC, vous pouvez remarquer la présence de porteurs, de poteaux et de poutres en BA. La zone 2 comprend notamment un local poubelles.



Le BET structure propose le plan d'exécution fourni en fig.10



Q5– En vous appuyant sur la figure 10, identifier le type de plancher utilisé pour la zone 1 et justifier l'utilisation de ce type de plancher.

Sur le plan d'exécution, vous pouvez constater que les murs du local poubelle n'apparaissent pas au niveau de la zone 2.

Q6 – Donner les fonctions que doivent remplir ces murs et justifier leur absence sur la figure 10. A partir de là, quel choix constructif pouvez-vous proposer pour la réalisation de ces éléments ?

1.5 - Stabilité en phase de travaux

L'altitude de référence du bâtiment correspond au niveau fini du Rez-de-chaussée, niveau ±0,00, altitude : 165,75 m N.G.F.
Etant donné la proximité du Rhône, les eaux quasi permanentes de la nappe phréatique sont supposées être à une altitude de 162,35 m N.G.F.
Le rapport hydro géotechnique met en évidence le fait que la nappe phréatique peut atteindre une altitude de 164,45m NGF au droit du site. De plus, ces fluctuations peuvent être plus importantes en cas de crues exceptionnelles.

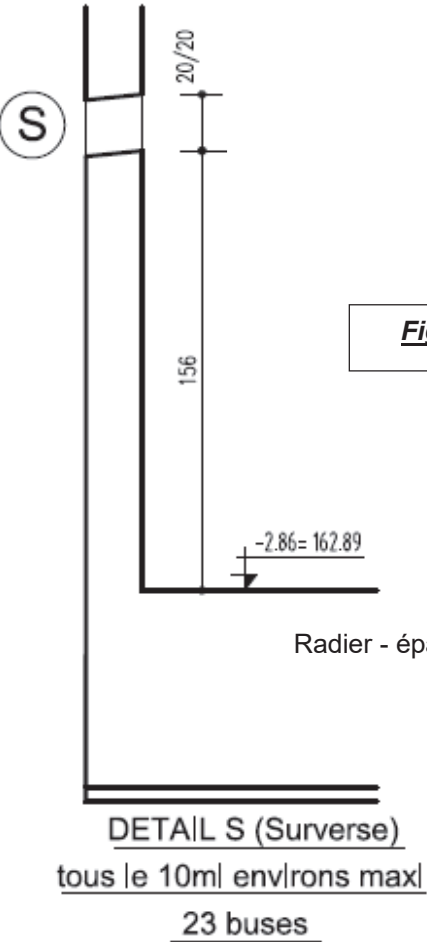


Fig11 : coupe type au droit des élévations du sous-sol.

Une fois le radier, les poteaux et les murs du sous-sol réalisés, il s'agit de vérifier la stabilité d'ensemble de l'ouvrage provisoire. A ce moment-là, il n'y a plus de système de rabattement de nappe mis en place, la nappe phréatique peut donc se situer à une altitude supérieure à 162,35 m NGF.

7. 1	Poteaux		
	- béton C60/70 (poteaux de section 30x70)	m3	10,00
	- béton C30/37 (autres poteaux)	m3	12,00
	- coffrage	m2	246,00
7. 2	- aciers HA	kg	4 096,00
	Voiles périphériques contre berlinoise et RSO		
	- béton C30/37	m3	102,00
	- coffrage	m2	507,00
7. 3	- aciers HA	kg	3 239,00
	- aciers TS	kg	3 959,00
	Voiles périphériques contre terre		
	- béton C30/37	m3	18,00
	- coffrage	m2	173,00
	- aciers HA	kg	1 036,00
	- aciers TS	kg	1 267,00
	Voiles et poutres voiles en B.A.		
	- béton C30/37	m3	42,00
	- coffrage	m2	402,00
	- aciers HA	kg	3 301,00

surface totale du radier 1910m²

Fig12 : Extrait de la DPGF

- Q7 – Proposer, pour chacune des phases suivantes, une solution technique permettant de se prémunir de la présence de la nappe :
- en phase de réalisation du sous-sol,
 - en phase d'exploitation du bâtiment.
- Vous ferez, pour chaque solution technique proposée, une description rapide de celle-ci et de son principe de fonctionnement.
- Q8 - Lors de la phase de construction du radier, le niveau de la nappe phréatique ne dépasse pas l'altitude de 162,35 m NGF. Vérifier la stabilité de l'ouvrage en phase provisoire (radier coulé en totalité, aucune élévation réalisée) en respectant l'eurocode 0 (annexe6)

- Q9 - Jusqu'à quelle altitude théorique de la nappe phréatique le radier peut-il être stable ?
- Q10 - Que préconisez-vous en cas d'instabilité de la structure en phase provisoire ?

Partie 2 – Etude de prix et méthodes de construction

2.1. Réalisation des murs de l'infrastructure

Au niveau de la zone « rizière », entre les points D' et E' que vous trouverez sur les plans d'installation de chantier fournis en annexe 2, le rapport géotechnique préconise la mise en œuvre d'un talutage. Voir annexe 3 « Prévion des terrassements »
L'entreprise souhaite étudier d'autres possibilités de réalisation des murs de la rizière. La longueur de ce mur de soutènement est de 20 m environ. Nous vous proposons donc d'étudier 3 possibilités de travaux pour cet élément :

Solution1 : talutage et réalisation des voiles périphériques en prémur
Le talutage est réalisé avec une pente de 1/1 et une banquette de 50cm

Solution 2 : talutage et réalisation des voiles périphériques avec des banches 2 faces
La mise en place de banches nécessite la réalisation d'une surlargeur de la banquette de 1m par rapport à la solution1, donc une banquette de 1,50m.

Solution 3 : réalisation de parois berlinoises et voiles périphériques à l'aide de banches 1 face.

Une partie de cette étude a déjà été réalisée ce qui a donné les résultats suivants :
La Solution 1 revient à un déboursé sec de 504,56 €/m. Ce montant comprend la pose et la fourniture des éléments du mur périphérique ainsi que le talutage nécessaire.
La Solution 3 revient à un déboursé sec de 1 233,79 €/m. Ce montant comprend la pose et la fourniture des éléments du mur périphérique ainsi que la paroi berlinoise nécessaire.

Q11 – A partir des hypothèses de prix fournis ci-dessous, calculer le déboursé sec correspondant à la solution 2, puis réaliser une étude de prix comparative entre les 3 solutions et conclure.

Coût Horaire moyen de la Main d'œuvre : 35 €/heure

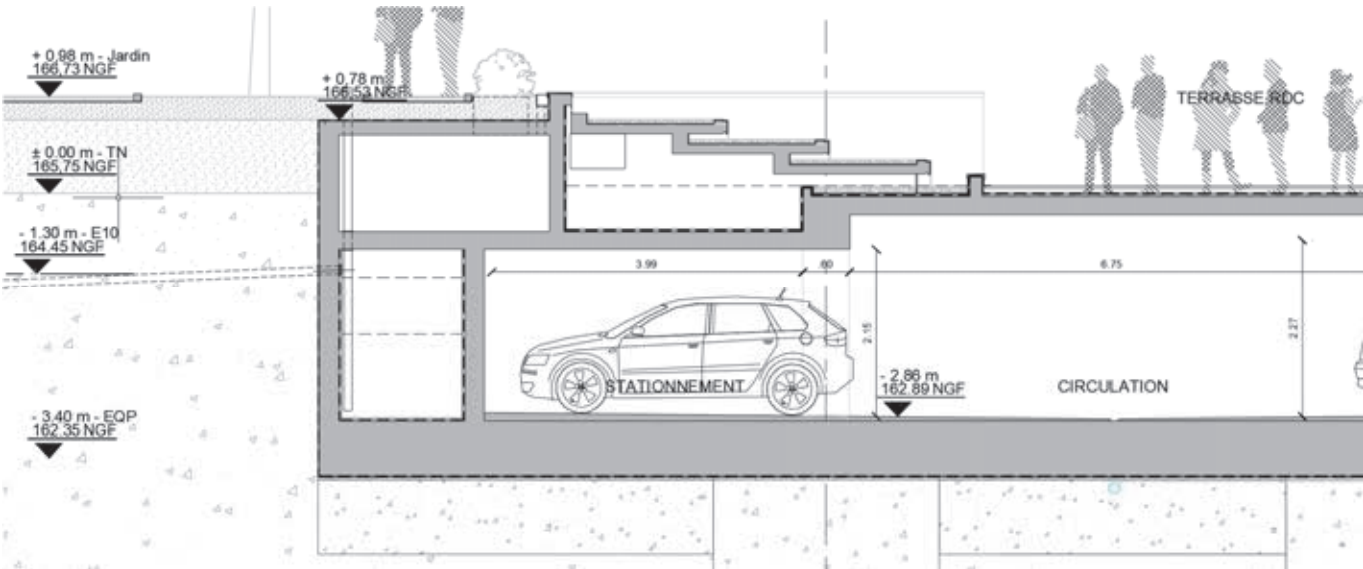


Fig13 : coupe au niveau de la rizière

Le niveau du terrain naturel après décapage et avant talutage est à une altitude de 0.00m. Sur cette coupe, l'épaisseur des dalles est de 20cm et celle des murs de 25 cm.

Hypothèse de TU – Voiles BA	
Bétonnage à la benne à béton de 1m3	Voile de 16 cm : 1 h/m ³ Voile de 20 cm : 0,8 h/m ³ Voile de 25 cm : 0,7 h/m ³
Aciers	TS : 0,04 h/kg ratio d'aciers nécessaire : 10kg/m ² HA : 0,025 h/kg ratio d'aciers nécessaire: 16 kg/m ³ Acier de reprise pour la liaison avec les 2 dalles: 0,40 h/m
Reprise et finition des surfaces coffrées	0,05h/m ²
coffrage	0,30h/m pour chaque face de banche

Hypothèses fournitures	
Acier HA	2 €/kg, pertes 3%
Acier TS	1,40 €/kg, pertes 3%
Acier de reprises de bétonnage	Acier de reprise entre les voiles et les dalles pour les murs banchés : 7 €/ml pour chaque dalle
Béton C30/37	83 €/m ³ pour la superstructure 98 €/m ³ pour l'infrastructure Transport 100 € pour une toupie de béton de 9 m ³

talutage / déblai	4,5 €/m ³
Remblaiement compacté jusqu'à l'altitude du TN (0,00 m)	5 €/m ³
Paroi berlinoise en zone libre (sans reprise en sous œuvre)	250 €/m ² de mur à réaliser (recépage compris)

Hypothèses location matériel	
Banche	20 €/m ² par mois, pour une face

Pour la réalisation des voiles de l'ensemble du sous-sol, soit 1200m² de mur coffré au total, l'entreprise devrait louer 16ml de trains de banche (2 faces) de 2,80m de hauteur et 16ml de rehausses de 1m, durant 1,5mois.

Q12 – Indépendamment des considérations financières, quels sont les critères techniques qui pourraient orienter l'entreprise à choisir les parois berlinoises plutôt que le talutage ? Vous pouvez vous appuyer sur le plan d'installation de chantier prévu par le maître d'œuvre et que vous trouverez en annexe 2.

2.2. Installation de chantier

Au vu des contraintes de chantier et du chiffrage précédent, l'entreprise décide de modifier le PIC et de réaliser un talutage le long de D'E' (voir plans d'installation de chantier en annexe 2)
Les éléments les plus importants à soulever par la grue sont recensés en annexe 7.
Les bâtiments avoisinants sont de même hauteur que le bâtiment à construire ou de hauteur inférieure.

Q13 – Rappeler les critères à respecter pour le choix d'une grue. Proposer un modèle de grue que vous préconisez pour chacune des 2 solutions de PIC (prévisionnel et entreprise). Pour cela, vous avez à disposition plusieurs documentations techniques en annexe 8.
Chaque choix réalisé devra être justifié.

Partie 3– Approche énergétique

3.1 - On se propose d'étudier les déperditions thermiques à travers les parois verticales d'un étage courant.

Les parois verticales d'un étage courant ont la composition suivante :

- En façades Est et Ouest : mur ossature bois avec isolation laine minérale, panneau OSB d'épaisseur 15 mm, finition intérieure par parement bois ajouré, finition extérieure par bardage métallique inox (côté EST) ou bardage bois (côté Ouest) : voir dessin de détail et compléments en annexe 9.
- En façades nord et sud : parois béton armé avec isolation thermique rapportée U = 0,220 W/m².K
- Châssis vitrés triple vitrage avec incorporation de stores vénitiens Uw = 1,6 W/m².K

Hypothèses :

- Les ponts thermiques linéiques aux jonctions d'angle verticales de la façade seront négligés
- Les ponts thermiques ponctuels pouvant exister aux jonctions des montants et traverses de l'ossature bois seront négligés
- La lame d'air située entre le bardage extérieur et l'ossature bois sera considérée comme fortement ventilée
- La cage d'escalier côté nord sera considérée comme étant à la température de l'air extérieur
- Côté sud, le bâtiment est entièrement mitoyen d'un immeuble de bureaux existant.
- Les déperditions maximales par renouvellement d'air sont estimées à 5,3 kW
- L'ensemble des apports gratuits est estimé à 35 % des déperditions.
- Le bâtiment sera chauffé, du 1^{er} octobre au 30 avril, pour une température de consigne de 19°C de 8h à 20h, 5 jours par semaine, et à 16°C en dehors de cette période.
- L'efficacité globale du système de chauffage est de 300 % (système PAC sur nappe phréatique)

Données géométriques :

- hauteur de paroi à prendre en compte pour un étage : 3,30 m

Façade	Linéaire total de paroi	Surfaces parties vitrées
Ouest	60,20 m	76,41 m²
Est	57,90 m	76,41 m²
Nord	22,70 m	
Sud	13,89 m	

Q14 - Calculer le coefficient de transmission surfacique des parois opaques situées sur les façades Est et Ouest.

Q15 – On se place en régime permanent avec une température extérieure de base de -10°C et une température intérieure de 19°C. Calculer la déperdition thermique statique pour cet étage. Si ce calcul était réalisé sur l'ensemble du bâtiment, quel usage pourrait-on avoir du résultat obtenu ?

Q16 – Quels éléments supplémentaires doit-on prendre en compte pour calculer les consommations d'énergie réelles du besoin en chauffage du bâtiment pour une période donnée ?

On désire estimer la consommation annuelle de chauffage en utilisant les DJU (degrés jours unifiés).

DJU à considérer (donnés pour une température intérieure de 18 °C) :

JAN	FEV	MARS	AVR	MAI	JUIN	JUIL	AOUT	SEPT	OCT	NOV	DEC
450.5	421.2	307.1	173.4	69.7	0.4	0.9	0.3	71.1	219.6	279.5	320.7

On considèrera que pour une température t différente de 18 °C nous avons :

$$DJt = DJU + (t-18) \times \text{nombre de jours considérés}$$

Pour un chauffage continu dans le temps, l'énergie consommée est obtenue par la relation suivante :

$$E_{conso} = \frac{B \times DJt \times 24}{rendement} \quad \text{avec} \quad B = \frac{D-A}{\Delta T} \quad B = \text{besoin en chauffage, } D = \text{déperditions, } A = \text{apports}$$

Q17 – calculer l'estimation de consommation annuelle de chauffage pour cet étage courant.

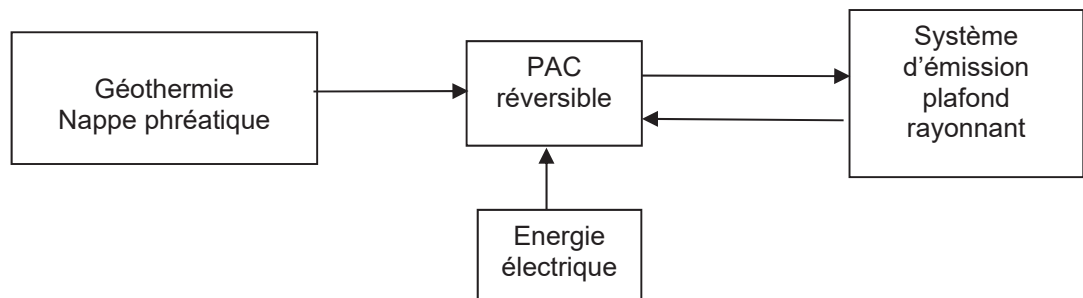
La loi relative à la transition énergétique fixe l'objectif d'une réglementation ambitieuse pour les bâtiments neufs. Bien que ce bâtiment ne soit soumis qu'à la réglementation RT 2012, le maitre d'ouvrage souhaite anticiper les évolutions vers la RT 2020 en étudiant l'éventualité d'une labellisation « E+ C– ».

Q18 - Donner les objectifs principaux poursuivis par les deux volets de performances du label E+ C–.

3.2. Choix du système de rafraichissement – fonctionnement CTA

Vous disposez du diagramme de l'air humide, sur le document réponse DR2

Le système de rafraichissement envisagé en été est l'utilisation de plafonds rayonnants réversibles. Ce système de rafraichissement peut être raccordé sur le système de géothermie via une PAC. La consigne de température intérieure été est de 26°C. L'humidité relative intérieure est évaluée à HR=40%
La production de chaud et de froid se fait grâce à une pompe à chaleur réversible connectée sur l'eau de la nappe phréatique. La température moyenne d'eau de la nappe est de 17°C en été et de 14°C en hiver.
Le système d'émission est constitué de plafonds rayonnants de régime 14/17°C pour l'été et 35/30°C pour l'hiver.



Q19 – Quel est le risque de l'utilisation des plafonds rayonnants en rafraichissement ?
Quelle température minimale de surface de panneau rayonnant doit-on respecter ?

On va s'attacher à dimensionner le système de rafraichissement au niveau de la zone des postes dessin d'un étage courant. La température extérieure est estimée à 34°C avec 35 % d'humidité relative. On évalue le nombre de personnes présentes dans cet espace à 32, de 8h à 20h, avec une surface nécessaire minimale de 8m²/personne.

(Voir plan de la zone étudiée ci-après).

Les apports internes sont les suivants :

occupation	75W/pers.	8 à 20h
Eclairage	8W/m²	100% de 8 à 20h
Bureautique en période occupée	100W/poste de travail 1 poste de travail par personne	8 à 20h

L'apport solaire maximal est de 500 W/m² de surface vitrée, avec un facteur solaire de 0,2. Celui-ci tient compte du système de triple vitrage ventilé mis en place. La surface des parois vitrées, sur cette zone, est de 70,74 m². Tout autre type d'apport sera négligé dans cette étude, y compris les charges latentes.

Q20 – Calculer la surface de plancher de la zone étudiée. La surface minimum réglementaire est-elle respectée ?

Q21 – Calculer le bilan des charges maximales condition été pour cette zone d'étude.

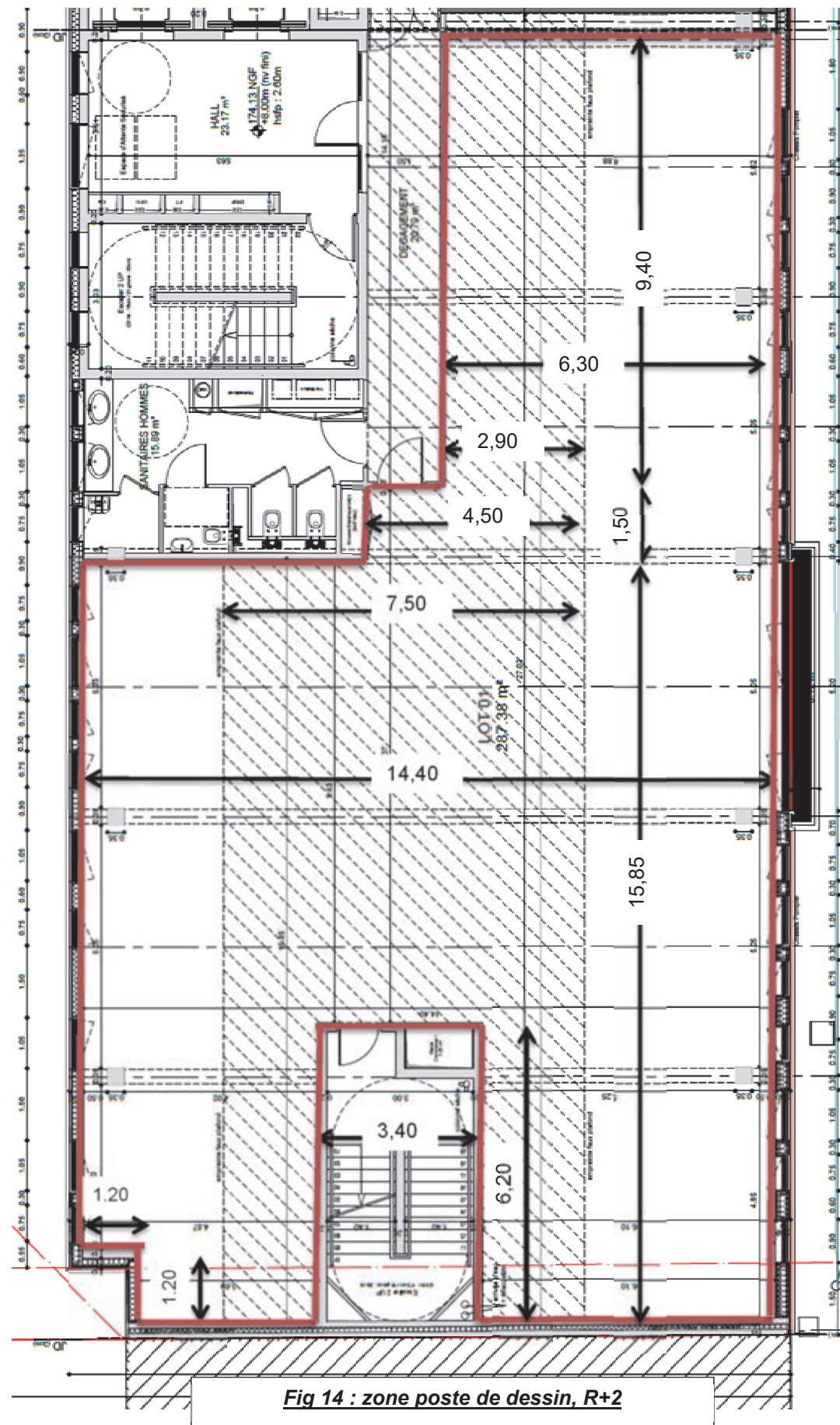


Fig 14 : zone poste de dessin, R+2

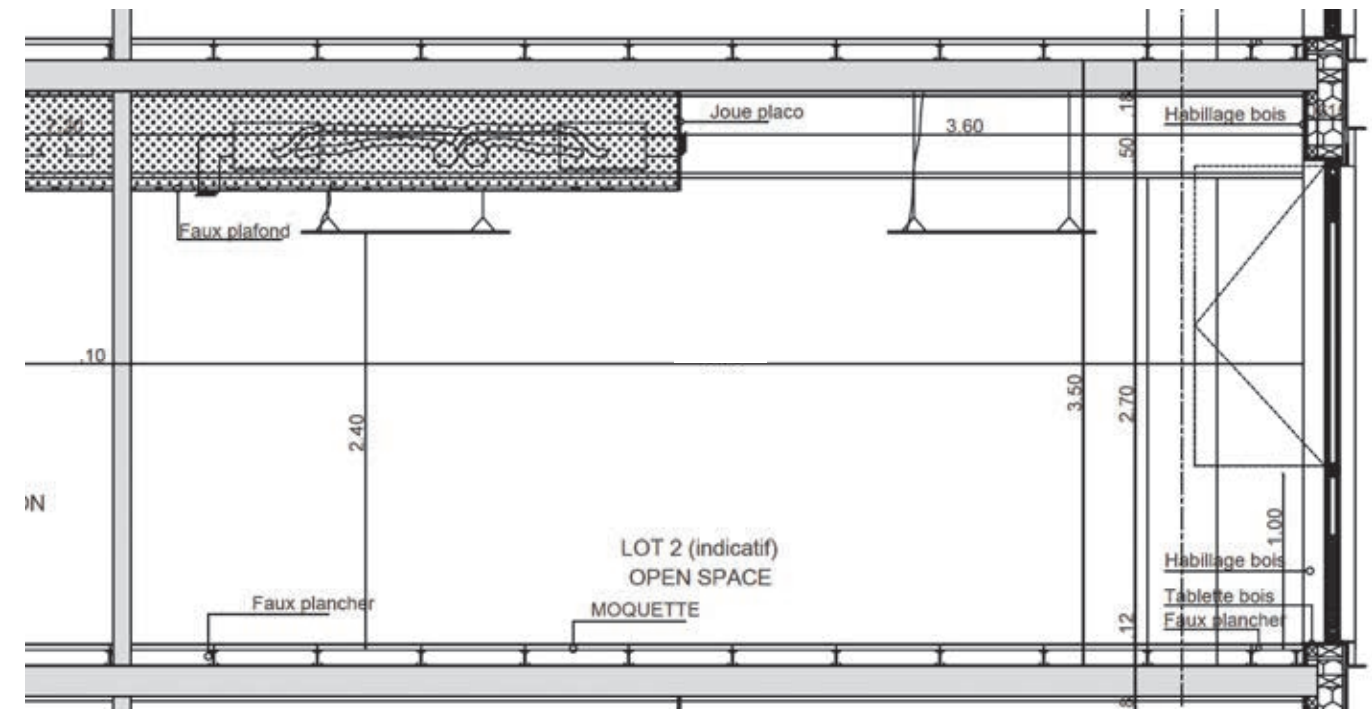


Fig15 : coupe de principe de la zone de poste dessin

La surface de faux plafond, où il est possible d'installer des plafonds rayonnants, ne représente que la surface hachurée sur le plan de la figure 14. Seuls 75 % de cette surface de faux-plafond sont disponibles pour l'installation des plafonds rayonnants.

Q22 – En utilisant les documents fournisseurs fournis en annexe 9, déterminer la surface de plafond rayonnant nécessaire au rafraîchissement, sachant qu'il s'agit de panneaux isolés de dimension 600x600 mm². Conclure sur la possibilité de cette installation.

Pour diminuer la surface de plafond rayonnant nécessaire, on décide d'ajouter une batterie froide en sortie de la VMC double flux.

Le rafraîchissement des locaux est alors en partie apporté par le système d'émission et par une Centrale de Traitement d'Air composée d'une Ventilation Double Flux couplée à une batterie froide en été.

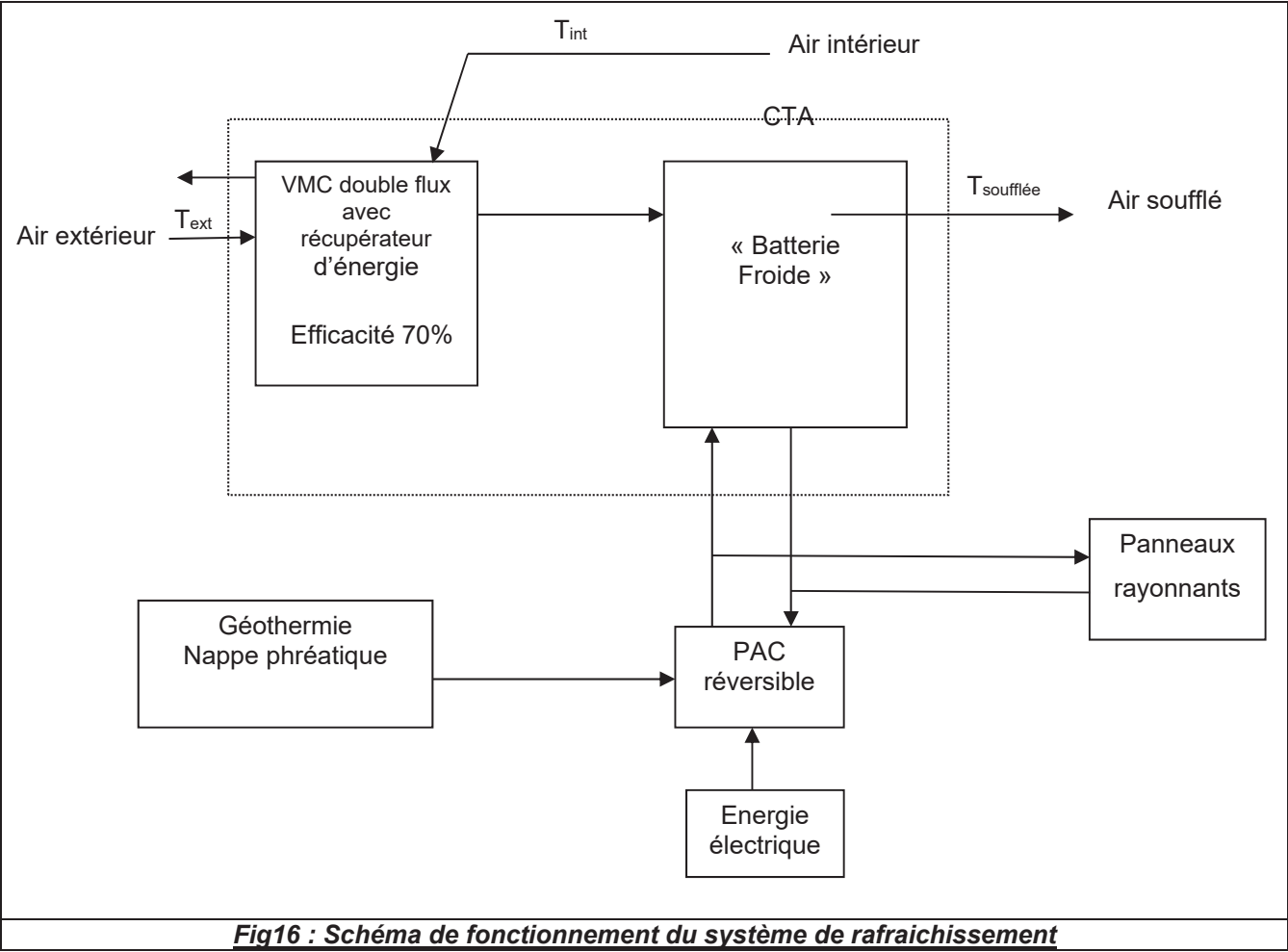
Hypothèses :

- Plafonds rayonnants 600x600, régime 14/17°C, placés sur une surface maximale de 100 m²
- CTA double flux avec batterie froide de régime 8/12°C

Q23 – Calculer la puissance apportée par les panneaux rayonnants mis en œuvre. En déduire la puissance devant être apportée par la CTA avec batterie froide.

Q24 – Proposer 2 solutions technologiques permettant d'alimenter les panneaux à la température nominale depuis la PAC. Pour chaque solution vous fournirez un schéma de principe légendé et vous donnerez leurs avantages et inconvénients.

Le fonctionnement de l'ensemble pourrait être schématisé de la façon suivante :



La température extérieure est estimée à 34°C avec une humidité relative de 35% et la température de l'air intérieur correspond alors à la consigne de température d'été de 26 °C. La CTA avec VMC double flux est équipée d'un échangeur ayant une efficacité de 70 %. (Rappel : $efficacitité = \frac{T_{ext}-T_{sortie}}{T_{ext}-T_{amb}}$)
La température de surface de la batterie froide peut être considérée comme la moyenne des températures du régime d'eau.
On considérera que la puissance échangée par renouvellement d'air dans un local est calculée avec la relation suivante : $P = 0,34 \times Q_v \times \Delta T$

- Q25 – En utilisant le tableau des débits minimums fourni en fig 17, calculer le débit d'air minimal de la VMC pour la zone étudiée.
- Q26 – En considérant que la CTA doit fournir une puissance sensible de 4 kW et en prenant la valeur du débit d'air minimal réglementaire, calculer la température de soufflage dans le local des postes dessin. Que pensez-vous de la valeur obtenue ?

DÉBITS MINIMUMS

Type de local			Débit m³/h		
			Par personne	Par m²	Par local
Bureaux	Entrée d'air	Poste d'accueil et de renseignement	25	2,5	
		Bureaux individuels de moins de 15 m²	25		25
		Bureaux collectifs	25	2,5	
		Espace de bureaux à cloisonnement mobile	25	1,8	
		Salle de dessins	30	3	
		Bibliothèque	18 (25)	1,8 (2,5)	
		Salle de repos	18		18
		Atelier d'entretien	45		45
	Sortie d'air	Vestiaires collectifs (N = nombre de casiers)			15 + 5 N
		Cabinets d'aisance isolés			30
		Cabinets d'aisance groupés			30 + 15 N
Réunion	Indépendant	Salle de réunions	30	8,6	
Restauration	Entrée d'air	Salle à manger	22 (30)	12,9 (17,6)	
		Cafétéria	22 (30)	12,9 (17,6)	
	Sortie d'air	Cabinets d'aisance isolés			30
Cuisine	Sortie d'air	Cabinets d'aisance groupés			30 + 15 N
		Cuisine moins de 150 repas simultanés		25 par repas	
		Cuisine de 150 à 500 repas simultanés		20 par repas	

NOTA : les débits inscrits entre parenthèses sont des débits "avec autorisation de fumer".

Fig17 : extraits du règlement sanitaire départemental

On fixe le débit de la VMC à 1300 m³/h et la température de soufflage en sortie de batterie froide sera de 17°C.

- Q27 – Calculer la température de l'air en sortie de la VMC et entrée de la batterie froide, puis compléter, sur le document réponse DR1, le schéma de fonctionnement de l'installation en notant les différentes températures d'entrée et de sortie des différents composants.
- Q28 - Sur le diagramme de l'air humide fourni en DR2, placer les points représentatifs du fonctionnement de la CTA :
- Air extérieur que vous nommerez A
 - Air en sortie de VMC/entrée de batterie froide, que vous nommerez B
 - Température de surface de la batterie froide, que vous nommerez D
 - Air soufflé en sortie de batterie froide que vous nommerez C
- En déduire l'efficacité nécessaire de la batterie froide.
En utilisant le document réponse DR2, calculer la puissance totale (latente + sensible) de la CTA.
- Q29 – Conclure sur le fonctionnement de l'ensemble du système. Que préconiserez-vous sur le choix des caractéristiques de la CTA pour garantir un bon fonctionnement à long terme ?

PARTIE 4 - POUTRES MIXTES

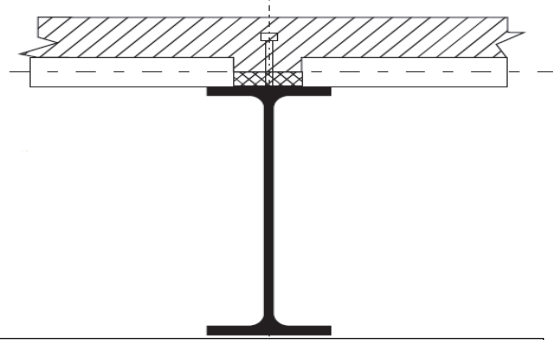


Fig18 : profil type de la section mixte

4.1 - Les planchers intermédiaires de l'ouvrage réalisés en dalle béton-armé sont supportés par des poutres métalliques HEB 500 en acier S275. Ces éléments sont connectés entre eux par des goujons connecteurs métalliques. On se propose dans cette étude de valider le choix de la section HEB 500 d'un point de vue résistance.

Q30 – expliquer le fonctionnement mécanique de ce type de structure. Vous donnerez le rôle de chacun des composants et expliquerez les avantages d'une telle association.

Nous étudions une poutre courante d'un plancher intermédiaire (visible sur figure 8 ci-avant)

Q31 - Nous nous plaçons dans la situation où l'ouvrage est en service en situation normale. Proposer un schéma mécanique de cette poutre. Vous ferez apparaître les différentes liaisons mécaniques, une modélisation qualitative des charges (pour une situation en service normal) et les portées retenues.

4.2 – Le dimensionnement de ces poutres doit se faire en prenant en compte les diverses situations auxquelles elles seront confrontées :

- Phases de montage
- Ouvrage en exploitation, situations normales et situations accidentelles

Q32 - Analyser, sur le document réponse DR03, les différentes situations rencontrées pour la mise en service des poutres.

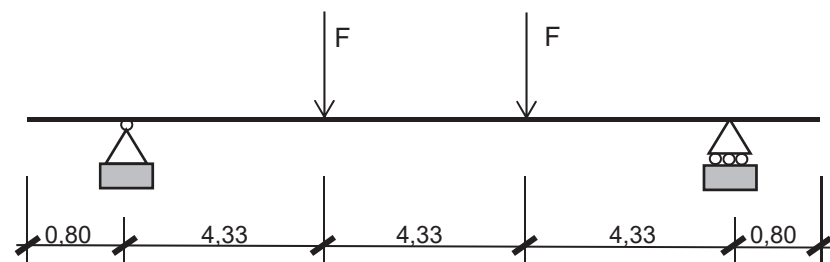
Pour chaque cas, vous ferez un schéma mécanique de la poutre et vous ferez un inventaire précis des actions mécaniques à prendre en compte (de manière qualitative uniquement, aucune valeur numérique n'est à calculer à ce stade).

Hypothèses à retenir :

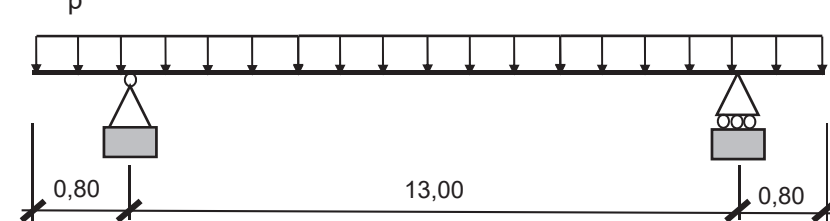
- les poutres seront étayées au 1/3 et au 2/3 de leur portée (2 étais par poutre)
- les prédalles seront étayées à la moitié de leur portée (1 file d'étalement par prédalle)
- Les étalements sont démontés 18 jours après le coulage du plancher

4.3 – Afin de faciliter les études ultérieures, nous allons d'abord étudier de façon littérale les 3 modèles suivants :

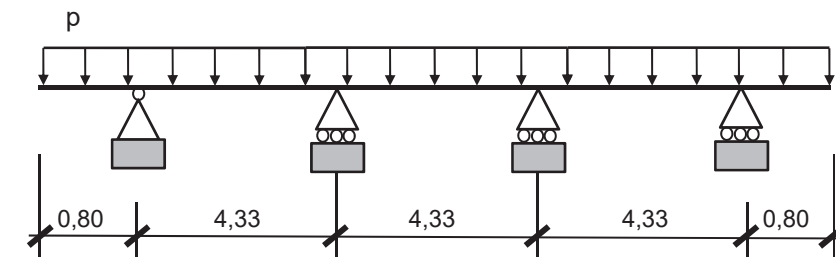
Modèle n°1 : poutre sur deux appuis soumise à deux forces ponctuelles d'intensité F



Modèle n°2 : poutre sur deux appuis soumise à une charge répartie constante d'intensité p



Modèle n°3 : poutre continue avec charge répartie constante d'intensité p



Q33 – Calculer les actions de liaisons pour chacun des 3 modèles proposés.

Q34 – Tracer les diagrammes des sollicitations d'effort tranchant et de moment fléchissant pour chacun des 3 modèles proposés.

4.4 – Nous allons étudier la poutre en phase de coulage du béton de la dalle, l'étalement est mis en place.

Lors de cette phase le béton n'a aucune résistance.

Données : épaisseur prédalle BA 50 mm / épaisseur totale plancher 180 mm

Par souci de simplification on prendra en compte une surcharge de chantier liée au coulage uniformément répartie sur la longueur totale de la poutre et correspondant à 100 daN/m²

Q35 - Calculer la charge ELU que doit reprendre une poutre HEB 500 puis vérifier que sa section reste suffisante vis-à-vis de la résistance au moment fléchissant uniquement. Conclure.

Q36 - Calculer la flèche maximale dans la poutre. La valeur limite admissible prise en compte pour ce plancher est de 20 mm. Conclure.

4.5 – Nous étudions maintenant la poutre dans un état intermédiaire : le béton de la dalle a été coulé 18 jours plus tôt, l'étalement de la dalle et de la poutre est enlevé.

La poutre supporte l'étalement du plancher de l'étage immédiatement supérieur, qui se trouve en phase de coulage du béton.

Hypothèses :

- les surcharges de chantier sur les planchers sont de 100 daN/m²
- La charge générée par l'étalement des prédalles peut être assimilée à une charge uniformément répartie.
- La continuité des prédalles sera négligée dans les calculs de reports des charges
- Pour l'acier : $f_{yd} = 275$ MPa Ciment utilisé : CEM 53,5 R

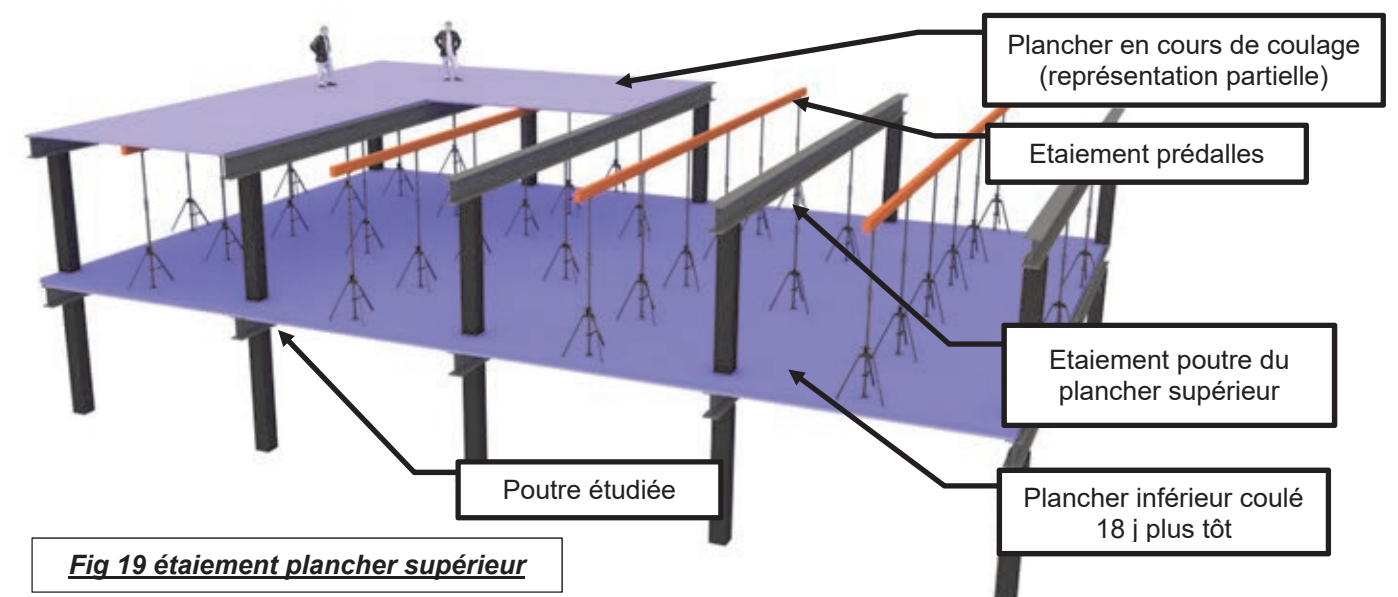
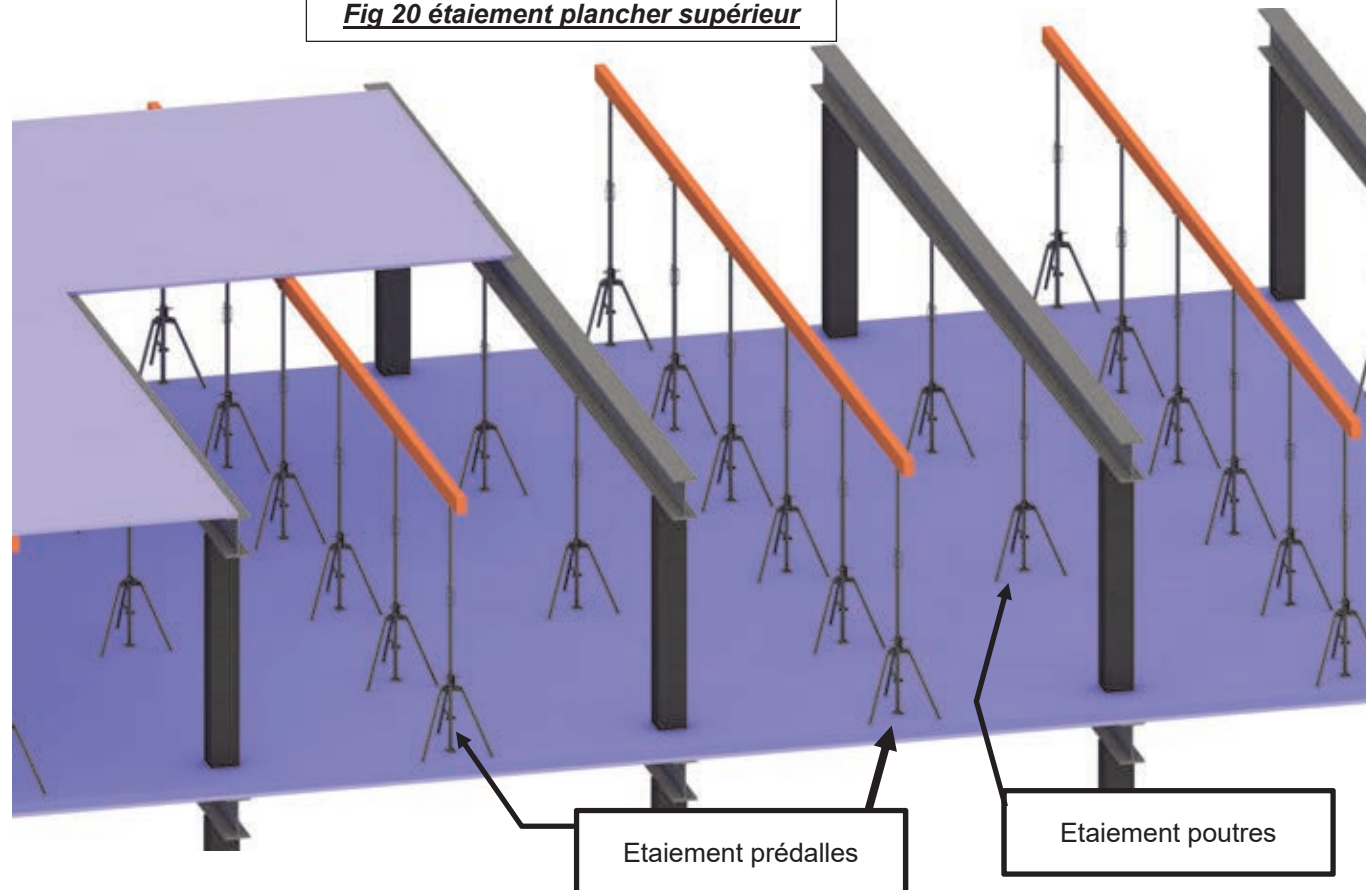


Fig 19 étalement plancher supérieur

Fig 20 étaieement plancher supérieur



Q37 - Calculer, à l'ELU, l'ensemble des charges que doit reprendre la poutre puis le moment fléchissant maximal en travée correspondant.

Q38 - Après avoir déterminé la largeur de la table de compression à prendre en compte selon l'EC4, effectuer la vérification ELU de la poutre mixte, pour le moment fléchissant en travée uniquement.

Hypothèses :

- La section est considérée de classe 1 avec une connexion complète
- La section sera vérifiée par comparaison de son moment résistant plastique au moment effectif appliqué
- Le moment agissant maximal à prendre en compte est de 1 800 m.kN

4.6 – Les vérifications effectuées dans cette étude sont incomplètes, mais sont, pour ce cas, les plus défavorables.

Q39 – Lister les vérifications complémentaires qu'il conviendrait d'effectuer pour que la note de calcul des planchers mixtes soit complète.

PARTIE 5 - RESISTANCE AU FEU

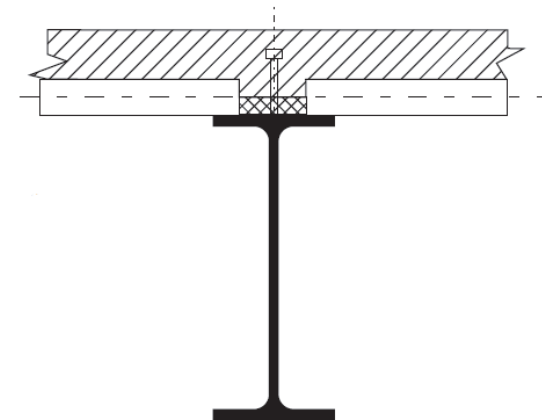
5.1 - Nous allons vérifier la poutre étudiée en partie 4 dans la phase d'exploitation du bâtiment, en situation accidentelle d'incendie sans protection au feu.

Le bâtiment sera occupé par des commerces au rez de chaussée avec un effectif maximal prévu de 250 personnes. Les étages seront occupés par des bureaux pour un effectif total de 350 personnes.

Q40 - A partir de l'annexe 12, déterminer le classement de ce bâtiment au sens de la réglementation incendie, puis l'exigence de résistance au feu des planchers.

5.2 - Dans un premier temps, nous allons **vérifier la stabilité du plancher soumis au feu sans protection particulière.**

Les calculs seront effectués uniquement en phase d'exploitation du bâtiment (les phases de construction sont donc exclues) et en partie centrale de la poutre. Une dalle en béton C30/37 d'épaisseur 18cm, comprenant une prédalle de 5cm, est connectée aux profilés métalliques pour constituer une section mixte.



Type Acier : S275 – profilé HEB 500, représentée sur la fig 8
Béton $f_{ck} = 30\text{MPa}$

Données complémentaires :

- Faux planchers 15daN/m²
- Equipements en sous face de dalle : 10 daN/m²
- Cloisons légères : 50daN/m²
- Poids volumique du béton armé : 25 kN/m³
- Façades : 100 daN/m²
- Charge d'exploitation : 350 daN/m²
- Combinaison des charges à considérer selon l'EC0, en situation accidentelle d'incendie (Annexe 6)

Fig21 : profil type de la section mixte

Q41 - Calculer les charges linéiques - permanentes et d'exploitation - qui s'exercent sur une poutre HEB. Déterminer la combinaison accidentelle à utiliser pour ce cas, puis calculer la valeur du moment dimensionnant en partie centrale de la poutre sous cette combinaison de charge accidentelle.

Pour cette étude, on se contentera de vérifier la stabilité de la poutre en vérifiant uniquement la résistance de l'élément mixte à travers la résistance de la section critique à la flexion en partie centrale de la travée. On considérera une table de compression de 2,28 m de largeur. On supposera que la température du profilé HEB 500 sera uniforme sur toute sa hauteur.

On se propose d'utiliser la méthode simplifiée de l'annexe E de l'eurocode 4.

Il convient dans un premier temps de déterminer les caractéristiques mécaniques de l'acier lorsque la poutre est soumise à un incendie. Vous pourrez utiliser les informations réglementaires qui se trouvent en annexe 6.

Q42 - En fonction des exigences définies à la question Q40 et du tableau de l'évolution de la température de l'acier pour un profilé HEB 500 donné ci-dessous, déterminer les caractéristiques mécaniques à considérer pour l'acier.

Durée d'exposition au feu en minutes	15	30	60	90
Température de l'acier θ	383°C	646°C	863°C	984°C

Q43 - Calculer le moment résistant plastique de la poutre en considérant que le béton n'a aucune résistance en traction. Vous prendrez les valeurs suivantes pour les coefficients de sécurité : $\gamma_{M,fi,a} = 1$ et $\gamma_{M,fi,c} = 1.30$

Q44 - Conclure sur la stabilité de la structure en cas d'incendie

5.3. – Protection des poutres vis-à-vis d'un risque d'incendie.

Nous prenons comme hypothèse que la stabilité de la poutre ne peut être assurée sans protection. Sur la partie centrale (zone hachurée sur la fig 8, visible aussi sur les fig. 14 et 15), la poutre métallique est placée sous un faux plafond et peut donc être protégée par un flocage. Sur les parties d'extrémité, apparentes, on utilise une peinture intumescente.

La température critique sera prise égale à 570 °C.

Q45 – Après avoir rappelé le principe de fonctionnement d'une peinture intumescente, préconiser le type et l'épaisseur de cette peinture en fonction des informations fournisseur que vous trouverez en annexe 13