

SESSION 2017

**AGREGATION
CONCOURS INTERNE
ET CAER**

Section : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR

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

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

Durée : 4 heures

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

- Référentiel de formation des classes de baccalauréat « STI2D ».

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

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 :** page n°1 à n°16
(1 page de couverture + 16 pages format A4)
- **Dossier de plans (DCE) :** plan n°1 à n°15
(1 page de couverture + 15 plans format A3)
- **Dossier Technique :**
(1 page de couverture + 7 pages format A4)
 - DT01 : Mur mobile type « Algaflex »
 - DT02 : Caractéristiques des profilés IPE
 - DT03 : Formulaire : poutre en console
Caractéristiques des aciers pour BA
 - DT04 : Caractéristiques des treillis soudés
 - DT05 : Abaque de perte de charge linéique PER
 - DT06 : Circulateur « PRIUX HOME »
 - DT07 : Performances « PRIUX HOME 40 »
- **Documents Réponses :**
(1 page de couverture + 1 page format A4)
 - DR01 : Tableau hydraulique du réseau Radiateurs Restauration

SOMMAIRE :

Documents fournis	p. 1
Sommaire	p. 1
Avis aux candidats	p. 1
Questionnement :	
• Présentation générale	p. 2
• Partie 1 – Analyses de conception	p. 7
• Partie 2 – Études d'exécution « Chauffage – Ventilation – Plomberie ».	p. 13

AVIS AUX CANDIDATS :

Les 2 **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/croquis.
- 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.
- Il sera tenu compte dans la correction de la clarté des réponses, ainsi que de la qualité graphique de la copie.
- En raison du nombre très important de documents liés aux marchés du domaine du BTP (plusieurs centaines de pages A4 et de nombreux plans spécifiques), et afin de limiter la taille des sujets de concours, on suppose idéalement que toutes les informations nécessaires aux études sont accessibles dans un contexte normal de travail d'un enseignant.
Ainsi, le cas échéant, le candidat peut formuler toutes les hypothèses nécessaires à la résolution des problèmes posés. Les renseignements non fournis ou les données manquantes dans le sujet sont laissés à son initiative sous réserve d'explications et de justifications.

PRÉSENTATION GÉNÉRALE

L'épreuve a pour but de vérifier que le candidat est capable de conduire une analyse critique de solutions technologiques et de mobiliser ses connaissances scientifiques et technologiques pour élaborer et exploiter les modèles de comportement permettant de quantifier les performances d'un système ou d'un processus lié à la spécialité et définir des solutions technologiques.

Le support technique de cette épreuve est la construction d'un restaurant scolaire sur une commune de Picardie (60 – Oise). Le projet architectural (fig. 1) consiste à construire un bâtiment d'une emprise au sol d'environ 690 m² essentiellement en rez de chaussée et à réaliser des travaux de voiries et de réseaux. Le restaurant scolaire est destiné à accueillir dans 3 salles à manger 88 élèves de primaire (self-service) et 64 élèves de maternelle. De façon occasionnelle, ce bâtiment pourra être utilisé par des associations municipales pour des activités polyvalentes.



fig. 1 – Insertion sur site

Le bâtiment est un établissement recevant du public de 4^o catégorie de type N et R situé :

- Vent : région 2, site normal
- Neige : région A1, altitude < 200m
- Séisme : région 1 (risque très faible)

ÉLÉMENTS GÉNÉRAUX CONCERNANT LA CONCEPTION

La structure du bâtiment est composée de voiles BA (ép. 20 cm) et de poteaux circulaires BA (\varnothing 25 cm) reposant sur des fondations superficielles. Les bétons de structure mis en œuvre sont de la classe C25/30 et de granulométrie 0/16. Les armatures pour béton armé d'une limite d'élasticité de 500 MPa sont mises en œuvre avec un enrobage nominal de 30 mm. L'enveloppe est constituée d'une part, de panneaux sandwich en aluminium laqué qui intègrent un isolant thermique et les différentes menuiseries, et d'autre part de bardages formant une ITE. De plus, une isolation thermique est mise en œuvre au niveau des faux plafonds et sur les toitures terrasses. La couverture est réalisée par des panneaux en zinc prenant appui sur une charpente mono-pente composée de pannes en bois massif et de poutres en bois lamellé collé. Les bois massifs utilisés sont des résineux de classe C24 et les bois lamellés-collés de classe GL24h. Les ferrures métalliques sont en acier E24 (qualité charpente). Le délai d'exécution des travaux est fixé à 11 mois.

Le terrain de la construction présente une très légère déclivité inférieure à 5% lorsque l'on s'oriente vers le sud-ouest. On estime la cote du terrain naturel avant travaux au droit du projet entre +47,5 m (NGF) et +49,0 m (NGF). Le projet ne présente pas de risque vis à vis des inondations. Les investigations géotechniques réalisées ont permis de mettre en évidence les éléments lithologiques suivants :

- couche de terre végétale de faible épaisseur de l'ordre de 0,20 m ;
- formation n°1 : argile limoneuse à sableuse, profondeur de la base à 1,60 m à 5,00 m ;
- formation n°2 : faciès sablo-argileux à sableux, profondeur supérieure à la profondeur maximale d'investigation de 20,0 m.

La présence d'une nappe aquifère est probable sur la zone intéressée par le projet. La profondeur de cette nappe est estimée entre 7,50 m et 9,00 m en période de hautes eaux et entre 22,50 m et 24,00 m en période de basses eaux. L'étude d'infiltration indique que la perméabilité des sols rencontrés entre 1,70 m et 5,00 m de profondeur est favorable à l'infiltration ($9 \times 10^{-6} \text{ m/s} > K > 3 \times 10^{-6} \text{ m/s}$), mais que les sols situés plus en profondeur (entre 5,00 m et 10,50 m) ne peuvent pas être sollicités pour une infiltration ($K < 1,00 \times 10^{-6} \text{ m/s}$).

Compte tenu du contexte géotechnique et du principe constructif de l'ouvrage, les fondations envisagées sont du type « superficielles ». Le principe de fondation envisagé consiste à reporter les charges de la structure par l'intermédiaire de semelles superficielles (filantes et/ou isolées), prenant appui dans une couche d'argiles limoneuses à sableuses à une profondeur d'environ 80 cm en dessous du terrain naturel, moyennant un encastrement minimal de 30 cm dans ceux-ci. Sous réserve d'une base minimale de fondation de 90 cm sous les murs de 20 cm et de 1.50x1.50 m sous les poteaux circulaires de diamètre 25 cm, les tassements attendus théoriques devraient rester inférieurs au centimètre. Les contraintes verticales centrées de calcul à prendre en compte pour la justification vis-à-vis des états limites ultimes et de services sont limitées à : $q_{ELU} \leq 280 \text{ kPa}$ et $q_{ELS} \leq 170 \text{ kPa}$.

Les charges permanentes sont évaluées à :

- Bois massif et bois lamellé collé : 600 daN/m³ ;
- Béton armé : 2500 daN/m³ ;
- Couverture Zinc (tout compris) : 40 daN/m² ;
- Complexe d'étanchéité + isolation sur toiture terrasse : 50 daN/m² ;
- Charges suspendues (éclairage, isolation, faux-plafonds..) : 35 daN/m² ;
- Mur mobile type Algaflex : 170 daN/m.

Les charges d'exploitation à pendre en compte sont :

- CTA sur dalle béton : 500 daN/m² ;
- Local sous station : 500 daN/m² ;
- Circulations : 400 daN/m² ;
- Dépôts, Rangements : 400 daN/m² ;
- Salle de restaurant : 400 daN/m² ;
- Locaux sociaux et divers locaux : 250 daN/m² ;
- Bureau : 250 daN/m² ;
- Surcharge d'entretien toiture terrasse : 100 daN/m².

Les charges climatiques à considérer sont :

- Neige : 35 daN/m² (60 daN/m² extrême) ;
- Vent : 60 daN/m² (105 daN/m² extrême).

Descriptif sommaire de l'installation :

Une chaufferie rénovée (schéma de principe plan n°13) située dans le local technique du bâtiment « logement » alimente la sous-station du restaurant scolaire via un réseau enterré (plan n°01). La sous-station distribue l'eau chaude dans 3 réseaux distincts : radiateurs salles de restauration, radiateurs locaux sociaux et batteries chaudes des centrales de traitement d'air (schéma de principe plan n°13).

Les 3 salles de restauration (maternelle, élémentaire 1, élémentaire 2) sont chauffées par radiateurs et appoint CTA. Les radiateurs de la zone sont alimentés par une nourrice située dans le local entretien/rangement (plan n°14).

L'eau chaude sanitaire est produite dans un ballon électrique de 1000 litres situé dans le local sous-station (plan n°15).

Extraits du Cahier des Clauses Techniques Particulières (CCTP) :

Conditions extérieures et intérieures

Site : Zone climatique H.1, zone abritée – Oise (60)

Extérieur hiver : -7°C 90 % HR

Intérieur hiver : 19°C

Production de chaleur

La production de chaleur nécessaire au chauffage de l'école primaire, de l'école maternelle, du bâtiment et du restaurant scolaire sera assurée par une chaufferie centrale installées au RDC du bâtiment logement couvrant les besoins de chauffage statiques et dynamiques, avec une surpuissance de 10%. La chaufferie comportera 2 chaudières et une attente pour une troisième chaudière identique qui sera installée lors de l'aménagement des logements et du centre aéré.

Les chaudières fonctionneront en cascade avec modulation de 16 à 100% de puissance.

Les chaudières produiront une eau primaire de chauffage à température constante de 80°C toute l'année.

Les travaux de chaque chaufferie consistent en la mise en place de deux chaudières gaz au sol à condensation à ventouse horizontale avec sortie en façade. Les chaudières seront :

- à très haut rendement annuel jusqu'à 104,7% sur PCI pour une température de retour à 30°C ;
- de puissance réelle à déterminer par l'étude thermique, les bâtiment existants (école maternelle et école primaire) représentent une puissance de 180 kW de puissance d'émetteurs installés ;
- modulantes de 18 à 100% de la puissance.

Le régime d'eau de dimensionnement de l'installation sera de 80/60°C.

Il sera prévu dans la chaufferie les départs des circuits suivants :

- Circuit 1 : T° variable (80-60°C) pour l'alimentation de l'école primaire chauffée par radiateurs.
- Circuit 2 : T° variable (80-60°C) pour l'alimentation de l'école maternelle chauffée par radiateurs.
- Circuit 3 : Attente pour l'alimentation des logements et du centre aéré chauffée par radiateurs.
- Circuit 4 : T° constante (80-60°C) pour l'alimentation de la sous station du restaurant scolaire.

Les circuits régulés le seront selon une loi d'eau individuelle en fonction de l'extérieur.

Réseaux enterrés

La liaison sera réalisée depuis le vide sanitaire sous la chaufferie jusqu'à la sous station. Les réseaux de distribution de l'installation seront exécutés selon le tracé porté sur les plans techniques.

Diamètre des tubes 51x63 en polyéthylène, coque extérieure en PVC diamètre 175 mm.

Sous-station

Création de 3 circuits secondaires raccordés sur les collecteurs Aller et Retour :

- Circuit 1 : T° variable (80-60°C) pour l'alimentation des radiateurs des salles de restaurant.
- Circuit 2 : T° variable (80-60°C) pour l'alimentation des radiateurs des salles des locaux sociaux.
- Circuit 3 : T° constant (80-60°C) pour l'alimentation des centrales de traitement d'air.

Chauffage et ventilation de la zone restauration

Les radiateurs des salles de restaurants seront dimensionnés pour assurer une température de 14°C dans les locaux, le complément de température sera assuré par les centrales de traitement d'air.

Circuit radiateurs

Pompe de circulation à régulation électronique (vitesse variable) : débit et hauteur manométrique à déterminer.

Les réseaux de distribution de l'installation seront exécutés selon le tracé porté sur les plans techniques.

Ils seront réalisés en bitube au moyen de tubes en acier pour les distributions principales jusqu'aux nourrices de distribution radiateurs.

Les alimentations des radiateurs seront réalisées en « pieuvre » en tube polyéthylène réticulé PER sous fourreau (système hydro câblé) à partir des nourrices.

Les tubes seront obligatoirement anti oxygène (BAO).

Vitesse maximale admissible en canalisation : 0,80 m/s.

Circuit CTA

Pompe de circulation double à régulation électronique (vitesse variable) : débit et hauteur manométrique à déterminer.

Les batteries chaudes des centrales de traitement d'air seront alimentées directement depuis le circuit secondaire à température constante, et raccordée sur une vanne trois voies montée en décharge.

La ventilation des locaux du restaurant scolaire sera assurée par 1 centrale de traitement d'air à double flux avec récupérateur à plaques et batterie chaude par salle de restaurant.

Radiateurs

Les émetteurs de chaleur seront dimensionnés pour une chute de température de 20 K, aux régimes d'eau des circuits secondaires par lesquels ils sont alimentés.

Régulations terminales radiateurs

Sur chaque radiateur, l'entreprise titulaire du présent lot devra la fourniture et pose de robinets thermostatiques.

Production d'eau chaude sanitaire

La production d'ECS sera réalisée par un ballon électrique de capacité 1000 litres.

Le ballon ECS sera implanté dans la sous station

L'eau chaude sera produite à 60°C et distribuée à une température de 55°C minimale et à une température maximale de 45°C aux robinetteries (robinets thermostatiques).

Distribution d'eau chaude sanitaire

La distribution ECS sera réalisée en encastrée en tube polyéthylène de type PER depuis la nourrice sous station. Toutes les canalisations seront calorifugées selon les normes en vigueur.

Bouclage d'eau chaude sanitaire

Pour éviter les problèmes de légionellose, il sera prévu un bouclage du réseau de distribution ECS depuis la production en sous-station jusqu'aux points de distribution de l'eau chaude sanitaire suivant nécessité pour respecter l'arrêté du 30 novembre 2005 :

« lorsque le volume entre le point de mise en distribution et le point de puisage le plus éloigné est supérieur à 3 litres, la température de l'eau doit être supérieure ou égale à 55 °C en tout point du système de distribution, à l'exception des tubes finaux d'alimentation des points de puisage. Le volume de ces tubes finaux d'alimentation est le plus faible possible, et dans tous les cas inférieur ou égal à 3 litres ».

L'ensemble du réseau de bouclage sera calorifugé. Tous les bras morts seront proscrits : les débits de bouclage devront donc être tels que la vitesse en canalisation d'alimentation hors soutirage sera supérieure à 0,20 m/s.

Les réseaux seront conçus pour permettre la réalisation des chocs thermiques à 70°C conformément à la réglementation en vigueur.

PARTIE N°1 – ANALYSES DE CONCEPTION

Les 5 questions sont indépendantes.

Question n°1 :

Les dénominations des façades portées sur les plans d'architecture (plan n°02 et n°03) font référence aux lieux vers lesquelles elles sont orientées (façade sur cour, façade sur rue) ou à la destination des entrées dans le bâtiment (façade sur école élémentaire, façade sur école maternelle). En prenant en référence l'orientation géographique (Nord, Sud, Est, Ouest), donner la dénomination cardinale correspondante de chaque façade.

Question n°2 :

Les coupes BB, CC, DD (plan n°05 et plan n°06) font apparaître dans les zones de restauration des faux plafonds présentant une inclinaison. En quelques lignes, donner les principales raisons architecturales et techniques qui ont motivées ce choix.

Question n°3 :

Les différents plans (notamment le plan n°01) fournissent des éléments concernant la gestion à la parcelle des eaux pluviales. Les règles d'assainissement applicables à ce projet de construction imposent de limiter au maximum le débit de rejet d'eaux pluviales (Q_{Rejet}) dans le collecteur principal unitaire localisé sous la chaussée de la rue de la commune de Paris. Ainsi, les règles communales relatives à la gestion des eaux pluviales fixent les objectifs ci-dessous à atteindre :

- 1) *Infiltrer l'équivalent du volume décennal d'eaux pluviales le plus défavorable, si la perméabilité des sols le permet.*
- 2) *Assurer la vidange du volume de stockage des eaux pluviales en moins d'un jour pour un événement décennal le plus défavorable.*
- 3) *Assurer la vidange du volume de stockage des eaux pluviales en moins de deux jours pour un événement centennal le plus défavorable.*

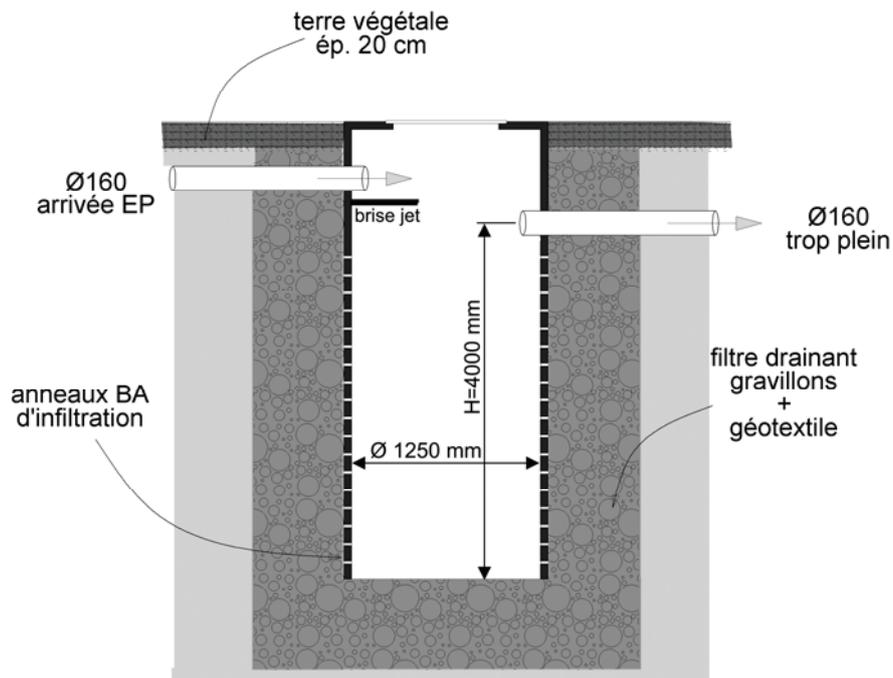


fig. 2 – Coupe sur un puits d'infiltration (phase DCE)

Pour un puits, le débit d'eaux pluviales décennal défavorable est de 1,50 L/s pour un épisode pluvieux d'une durée de 30 minutes. En phase DCE, le diamètre intérieur d'un puits (fig. 2) est fixé à $D=1,25$ m ; la hauteur de sortie vers l'exutoire est de $H_R=4.00$ m et le coefficient moyen de perméabilité est estimé à $K=6.10^{-6}$ m/s. Le diamètre des canalisations d'arrivée d'EP et de rejet (trop plein) est de 160 mm. Le modèle hydraulique simplifié d'un puits cylindrique d'infiltration est présenté par la figure n°3.

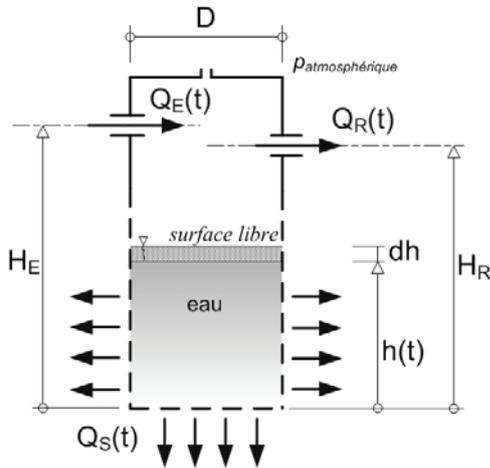


fig. 3 : Modèle hydraulique

- $Q_E(t)$: débit entrant en fonction du temps
- $Q_R(t)$: débit de rejet (trop plein) en fonction du temps
- $Q_S(t)$: débit sortant (infiltration) en fonction du temps
- $h(t)$: hauteur de la surface libre en fonction du temps
- H_R : hauteur de sortie
- H_E : hauteur d'entrée
- D : diamètre du puits
- A : aire de la surface libre
- $V(t)$: volume d'eau dans le puits en fonction du temps

On adopte les hypothèses suivantes :

- Le sol entourant le puits est homogène et isotrope.
- La vitesse d'infiltration de l'eau dans un sol est régit par la loi de Darcy :

$$u = K.i \Leftrightarrow (a)$$

u : vitesse d'infiltration [m/s]

i : gradient hydraulique

K : coefficient de perméabilité du sol [m/s]

- L'infiltration se fait sur toute la surface mouillée du puits avec un gradient hydraulique égal à 1.
- Les effets de la viscosité et les phénomènes de capillarité sont négligés.
- La loi de conservation permet d'écrire l'expression ci-dessous :

$$Q_E(t) - (Q_S(t) + Q_R(t)) = \frac{dV(t)}{dt} \Leftrightarrow (b)$$

On rappelle que : $\int_{\alpha}^{\beta} \frac{1}{b + a.x} . dx = \left[\frac{1}{a} . \ln(b + a.x) \right]_{\alpha}^{\beta}$

Q 3.1 – A l'aide du plan n°01, expliquer succinctement le principe global de fonctionnement du réseau EP envisagé dans la phase DCE.

Q 3.2 – En supposant le débit entrant d'eaux pluviales constant ($Q_E(t)=C^{te}$) et le débit de rejet nul ($Q_R(t)=0$), montrer que l'équation (b) a pour expression :

$$\frac{4}{\pi.D^2} . Q_E - K . \left(1 + \frac{4.h(t)}{D} \right) = \frac{dh}{dt} \Leftrightarrow (c)$$

- Q 3.3** – Dans le cas d'un événement pluvieux décennal ($Q_E=1,5$ L/s), en supposant un colmatage total du système drainant ($Q_S=0$) ; calculer le temps de remplissage (T_R) nécessaire pour que la surface libre atteigne la cote $H_R=4.00$ m dans un puits ($D=1.25$ m) si ce dernier est initialement « à sec ».
- Q 3.4** – Dans le cas où la surface libre est à la cote $H_R=4.00$ m dans un puits de diamètre $D=1.25$ m et que le débit entrant d'eaux pluviales est nul ($Q_E=0$) ; calculer le temps (T_V) nécessaire à la vidange par infiltration du volume d'eau ($Q_S \neq 0$).
- Q 3.5** – A quelle valeur de débit de rejet d'EP dans le collecteur principal (rue de la commune de Paris) doit-on s'attendre dans le cas où chaque puits d'infiltration reçoit une pluie centennale défavorable de débit $Q_E=3$ L/s sur une durée de 15 minutes ?
- Q 3.6** – A partir des questions précédentes, formuler une analyse critique du système de gestion des eaux pluviales.

Question n°4 :

Le projet architectural prévoit de séparer en zones distinctes les espaces de restauration des élèves de primaire et de maternelle par des murs mobiles de type Algaflex (DT01) au droit des files n°6 et n°7 (plan n°04, plan n°09, plan n°11, plan n°12). Le bon fonctionnement du système de coulisse d'un mur mobile impose que la déformation de flexion demeure inférieure à $L/500$. Aussi, le rail de coulisse du mur présentant une inertie à la flexion négligeable est supposé être parfaitement associé à un profilé métallique du type IPE ($E_{acier}=210000$ MPa, classe S235 ou E24). Lors des pré-études, la première modélisation envisagée du système porteur d'un mur mobile est présentée par la fig.4.

- Q 4.1** – En adoptant les hypothèses de l'élasticité linéaire dans le cas des poutres, après avoir déterminé des éléments nécessaires à un calcul de déformations (chargement, combinaisons d'actions, ...), déterminer par la méthode de votre choix le type de profilé IPE (DT02) convenant au critère de flèche dans le cas de la figure n°4. La portée du profilé IPE est fixée à 8 m. Formuler les conclusions ad hoc.

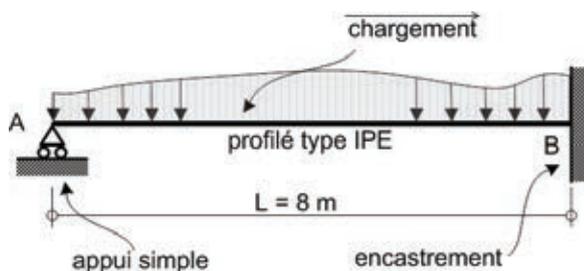


fig. 4 : Modèle initial

La deuxième modélisation envisagée (préconisée dans le DCE) pour reprendre les actions mécaniques du mur mobile est présentée par la figure n°5. Elle consiste à faire participer la poutre de charpente en bois lamellé-collé (BLC 22x50) située au droit de la file en « accrochant » un profilé IPE 200 par des suspentes verticales (tirants déportés).

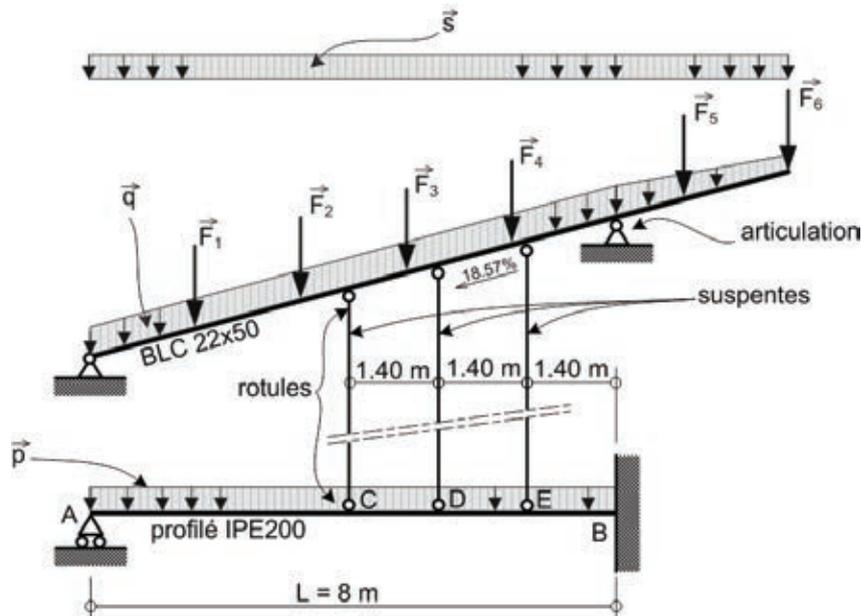


fig. 5 : Modèle de calculs

Q 4.2 – A l'aide de schémas et d'explications connexes mais sans calcul, exposer le fonctionnement mécanique (efforts, déformations, contraintes) du modèle proposé par la figure 5. Dégager les principaux points singuliers de cette modélisation devant susciter la vigilance d'un ingénieur (aucun calcul). Quels arguments peut-on énoncer pour choisir la modélisation proposée par la figure n°5 ?

Q 4.3 – A l'aide de croquis/schémas et d'explications connexes, présenter les solutions technologiques permettant de liasonner la poutre BLC 22x50 et le profilé IPE 200 sur les porteurs verticaux (file A et file B) ainsi que les liaisons des suspentes.

Question n°5 :

Le parti architectural adopté permet de définir des éléments porteurs (verticaux et horizontaux) en béton armé. Ainsi, la zone comprise entre les files B et C et les files 6 à 10 (plan n°10 et plan n°11) est composée de poteaux, de poutres et de dalles formant des toitures terrasses. Compte tenu des délais et des possibilités de réalisation, on adopte par hypothèses que les porteurs verticaux sont coulés en place et que l'on privilégie la préfabrication pour les horizontaux. Les sections des armatures principales des poutres et des poteaux sont données ci-dessous (Tab. 1 à 3). De plus, la figure n°6 (ci-dessous) présente pour les dalles, les sections d'armatures nécessaires en travées et en rives.

Après avoir défini la conception des éléments d'ouvrage BA (hors fondations et dallage) compris entre les files B-C et les files 6-10, on vous demande de présenter sous la forme de modes opératoires détaillés les différentes phases de réalisation. Les sections d'armatures fournies (Tab. 1 à 3 et fig. 6) pourront être complétées par toutes autres armatures rendues nécessaires par la conception adoptée.

Les croquis/schémas et les explications connexes doivent clairement faire apparaître :

- la chronologie des opérations ;
- la géométrie et les dimensions des éléments préfabriqués et ceux réalisés in-situ ;
- la position et la dénomination des armatures principales ;
- les cotes d'arase et de repos ;
- les manutentions et les phases de pose ;
- les clavetages, les reprises de bétonnage et les armatures dans ces zones ;
- les matériels employés ;
- ...

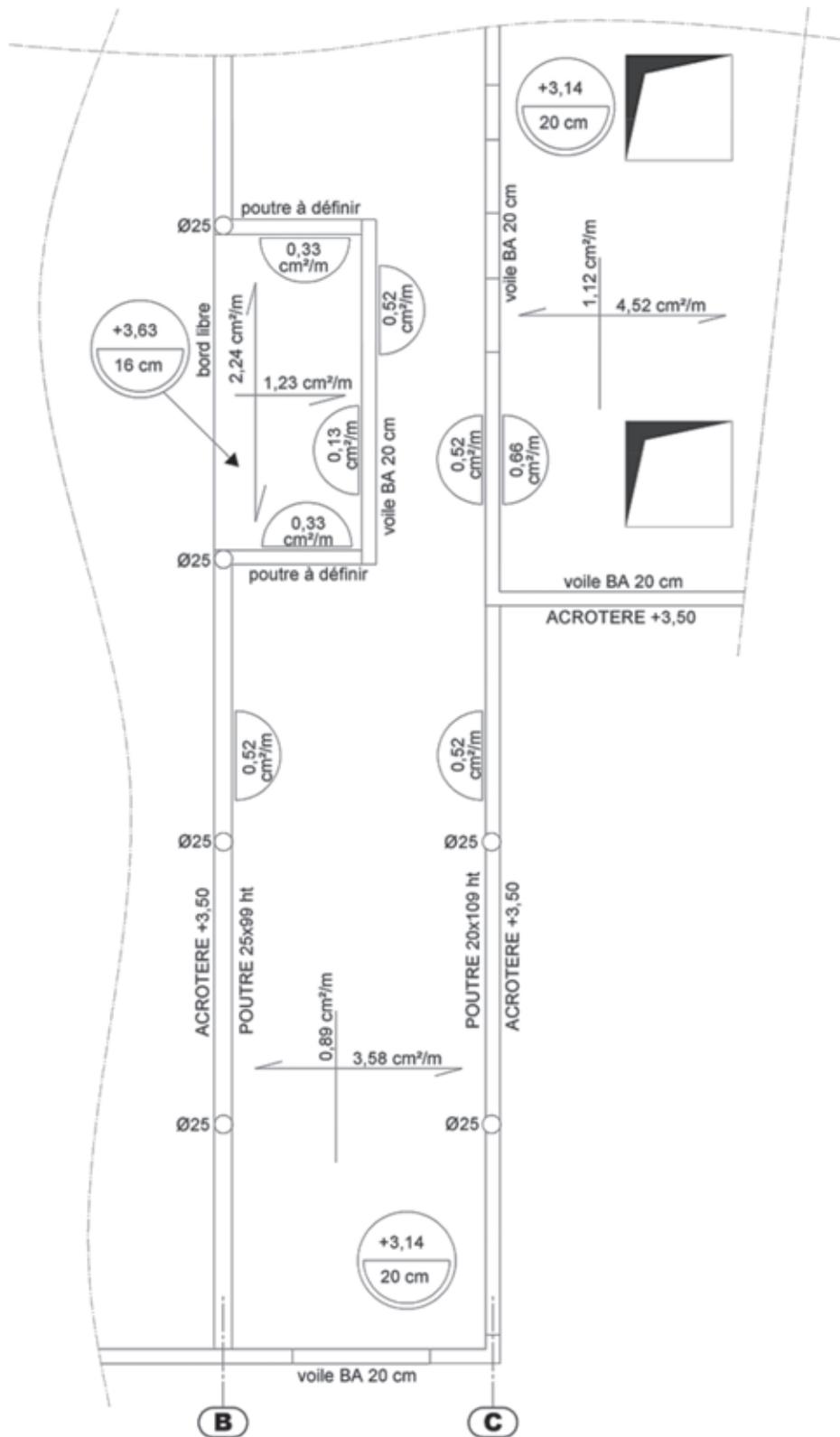


fig. 6 : Sections des armatures des dalles (en cm^2/m)

Poteaux \varnothing 25
Ferrillage longitudinal : 6 HA12
Ferrillage transversal : cadres HA8, St = 12 cm

Tab. 1 : Armatures des poteaux

Poutre 25x99 (file B)		
Travée : file 10 à 9	Travée : file 9 à 8	Travée : file 8 à 7
Ferraillage longitudinal :		
<ul style="list-style-type: none"> • Aciers inférieurs : Ast= 4,52 cm² • Chapeaux : Ast= 3,08 cm² 	<ul style="list-style-type: none"> • Aciers inférieurs : Ast= 4,52 cm² • Chapeaux : Ast= 6,16 cm² 	<ul style="list-style-type: none"> • Aciers inférieurs : Ast= 4,52 cm² • Chapeaux : Ast= 3,08 cm²
Aciers de peau :		
4HA10 + épingles HA8	4HA10 + épingles HA8	4HA10 + épingles HA8
Ferraillage transversal :		
cadres HA8	cadres HA8	cadres HA8

Tab. 2 : Armatures de la poutre 25x99 (file B)

Poutre 20x109 (file C)		
Travée : file 10 à 9	Travée : file 9 à 8	Travée : file 8 à 7
Ferraillage longitudinal :		
<ul style="list-style-type: none"> • Aciers inférieurs : Ast= 4,52 cm² • Chapeaux : Ast= 2,26 cm² 	<ul style="list-style-type: none"> • Aciers inférieurs : Ast= 4,52 cm² • Chapeaux : Ast= 4,52 cm² 	<ul style="list-style-type: none"> • Aciers inférieurs : Ast= 4,52 cm² • Chapeaux : Ast= 2,26 cm²
Aciers de peau :		
4HA10 + épingles HA8	4HA10 + épingles HA8	4HA10 + épingles HA8
Ferraillage transversal :		
cadres HA8	cadres HA8	cadres HA8

Tab. 3 : Armatures de la poutre 20x109 (file C)

PARTIE N°2 – ÉTUDES D'EXÉCUTION

Les études d'exécution présentées se bornent au lot « Chauffage – Ventilation – Plomberie ». Les 3 questions sont indépendantes.

Question n°6 :

Le CCTP du lot concerné, rédigé par la maîtrise d'œuvre est transmis à l'entreprise exécutante. Sa responsabilité dans l'exécution des travaux lui impose une analyse critique des choix techniques retenus.

- Le choix d'une production de chaleur par chaudières à condensation est-il ici justifié ?
- Dans la zone « restauration », le choix d'un système de chauffage mixte (base par radiateurs et complément par CTA) est-il justifié ?
- En sous-station, le choix d'un circulateur à vitesse variable, outre l'obligation réglementaire, est-il justifié pour le réseau radiateurs ? pour le réseau batteries CTA ?

Question n°7 :

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

Nous nous focaliserons ici à ce titre sur le réseau de chauffage par radiateurs des salles de restauration (plan n°14) : 11 antennes PER notées de 1 à 11 distribuent l'eau chaude aux radiateurs à partir d'une nourrice alimentée depuis la sous-station via un tube acier.

Les canalisations acier et PER ont été dimensionnées en respectant une vitesse de circulation limite fixée dans le CCTP.

Q 7.1 – L'objectif est de définir les caractéristiques de fonctionnement nominal du circulateur (débit Q_v [L/h] et hauteur manométrique H_m [mCE]) en vue de sa sélection et son réglage.

A l'aide de l'abaque de perte de charge (DT05), renseigner le tableau récapitulatif (DR01) et déduire les caractéristiques de fonctionnement nominal du circulateur (DT06 et DT07).

On précise : $P = q_m \times C \times \Delta T_{ES}$ avec P : puissance [W]

q_m : débit massique [kg/s]

C : chaleur massique [J/kg°C]

ΔT_{ES} : régime de température nominal [°C]

$$C_{eau} = 4185 \text{ J/kg°C} \quad \rho_{eau} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

Q 7.2 – Le maître d'ouvrage demande au bureau d'étude d'exécution de justifier économiquement l'obligation d'équiper les réseaux de circulateurs à vitesse variable.

Durant la période de chauffage, compte-tenu de l'action des robinets thermostatiques des radiateurs, on estime que le débit moyen du circuit représente environ 50% du débit nominal. En se référant aux courbes de performance du circulateur retenu (DT07), déterminer l'économie de consommation électrique annuelle en [%] réalisée en choisissant un circulateur à vitesse variable au lieu d'un circulateur classique (consommation stable de 35 W).

Q 7.3 – La mise en service du circuit de chauffage par radiateurs consiste principalement à équilibrer l'installation, c'est-à-dire obtenir les débits prévus aux différents émetteurs. En effet, les débits souhaités sont rarement ceux constatés à la mise en marche du circulateur. Cela est dû au déséquilibre initial des pertes de charge des antennes lors du dimensionnement, déséquilibre qui est compensé par une redistribution naturelle des débits égalisant les pertes de charge des tronçons parallèles. Si aucune action corrective n'est envisagée, des radiateurs seront sous-alimentés (puissance réduite), d'autres sur-alimentés (sifflement). Sur site, la tâche peut vite devenir ingrate voire complexe compte tenu des interférences hydrauliques. Lorsque le nombre d'émetteurs est important, il est judicieux d'évaluer les débits « réels » au préalable : cela permet de cibler les émetteurs sur lesquels agir, facilitant ainsi grandement la tâche du metteur au point (un écart de débit supérieur à $\pm 15\%$ conduit à un réglage local).

La méthode des impédances hydrauliques est appropriée à ce calcul prévisionnel :

Soit Z_i , impédance d'un élément de réseau i : Z_i est défini par $J_i = Z_i \times Q_i^2$

avec J_i : perte de charge de l'élément de réseau en [mmCE]

Q_i : débit traversant l'élément en [L/h]

Les calculs préalables de pertes de charge permettent de quantifier les impédances des différents tronçons :

Z_C	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5	Z_6	Z_7	Z_8	Z_9	Z_{10}	Z_{11}
0,0028	0.082	0.354	0.373	0.108	0.285	0.256	0.076	0.069	0.169	0.159	0.06

Une hauteur manométrique $H_m = 2150$ mmCE est fixée au circulateur.

Évaluer les débits prévisionnels (ainsi que les écarts) dans l'ensemble des tronçons - antennes et tronçon commun - (DR01). Conclure.

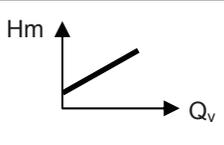
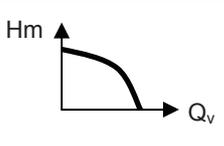
On précise : association de tronçons en série : $Z_{eq} = \sum Z_i$

association de tronçons en parallèle : $\frac{1}{\sqrt{Z_{eq}}} = \sum \frac{1}{\sqrt{Z_i}}$

réseau bouclé (circuit) : $H_m = J_{circuit} = Z_{circuit} \times Q_{circuit}^2$

Q 7.4 – Montrer que le circulateur à vitesse variable améliore l'indépendance hydraulique des antennes, c'est-à-dire leur stabilité en débit, par rapport au circulateur à vitesse fixe en calculant le débit qui va circuler dans une antenne *référente* (antenne 1) lorsque toutes les autres sont fermées par action des robinets thermostatiques. Conclure.

On précise : courbes caractéristiques des circulateurs $H_{m[mmCE]} = f(Q_{v[L/h]})$

Circulateur à vitesse variable		$H_m = 1,3 Q_v + 1250$
Circulateur classique (vitesse fixe)		$H_m = 2700 - 0,00115 Q_v^2$

Question n°8 :

La distribution d'eau chaude sanitaire (ECS) est réalisée depuis une nourrice située en local sous-station. Six antennes notées de A à F permettent d'alimenter l'ensemble des équipements du restaurant scolaire (plan n°15).

Les canalisations d'alimentation sont identiques quelque soit l'antenne et calorifugées par des manchons isolants de 25 mm d'épaisseur (norme classe 4) :

	dénomination	D _{ext} [mm]	D _{int} [mm]	λ [W/m°C]	C [J/kg°C]	m _L [kg/m]	contenance [L/m]
Tube PER	20 x 1,9	20	16,2	0,4	1800	0,106	0,206
manchon	70 x 25	70	20	0,035	NC	négligeable	

Le coefficient de transmission thermique linéique d'un tube est défini par :

$$U_{[W/m°C]} = \frac{1}{R_g} \quad \text{avec } R_g_{[m°C/W]} = \frac{1}{\pi \cdot D_{int} \cdot h_{int}} + \sum \frac{\ln\left(\frac{D_e}{D_i}\right)}{2 \cdot \pi \cdot \lambda} + \frac{1}{\pi \cdot D_{ext} \cdot h_{ext}}$$

Q 8.1 – Calculer les coefficients U du tube PER nu et calorifugé.

*On précise les coefficients d'échange superficiel : $h_{int} = 3000 \text{ W/m}^2\text{°C}$ (interface eau)
 $h_{ext} = 10 \text{ W/m}^2\text{°C}$ (interface air)*

Q 8.2 – La variation de température T d'un corps, ou d'un liquide, laissé dans un environnement à température ambiante constante T_{amb} est proportionnel à la différence de température entre ce corps et l'ambiance :

$$\frac{dT}{dt} = k(T - T_{amb}) \quad (\text{loi de Newton})$$

On retrouve aisément cette loi en appliquant un bilan thermique élémentaire sur une unité de longueur de canalisation (de température supposée homogène T) :

puissance perdue par le corps = flux échangé avec l'ambiance

$$-\sum(m_L C) \frac{dT}{dt} = U(T - T_{amb})$$

Montrer que la solution de cette équation est $T_t = T_{amb} + (T_0 - T_{amb}) \cdot e^{-t/\tau}$ où τ est une constante de temps qui sera explicitée.

Pour le tube nu et calorifugé :

- calculer τ ;
- en déduire la température de l'ECS après 3 heures de stagnation dans les canalisations (durée moyenne estimée entre 2 soutirages en cuisine collective) ;
- conclure.

Q 8.3 – Le bouclage sanitaire consiste à faire circuler l'ECS en continu dans les canalisations d'alimentation calorifugées.

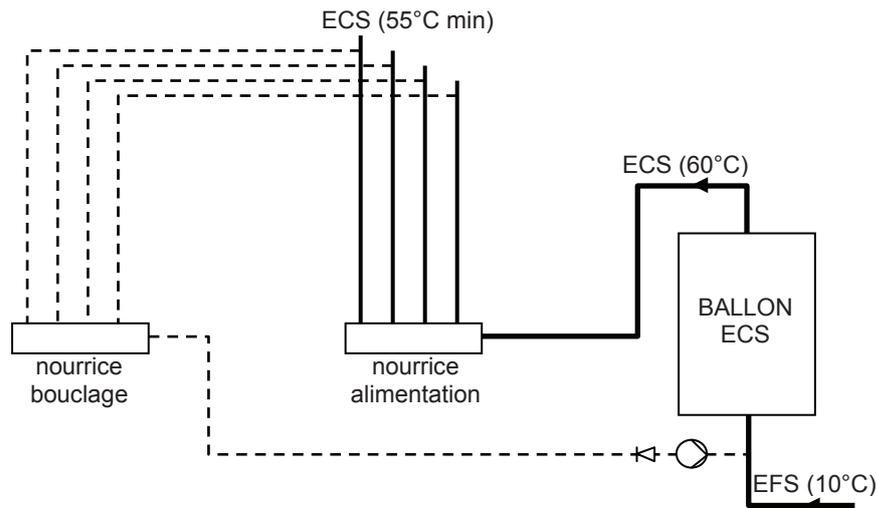


fig. 5 : Schéma de principe du bouclage sanitaire

Les pertes de chaleur des canalisations (pertes en ligne) peuvent s'exprimer :

thermiquement $\rightarrow P = U \times L \times \Delta T_{int-ext}$

calorimétriquement $\rightarrow P = q_m \times C \times \Delta T_{entrée-sortie}$

On rappelle qu'un débit est lié à une vitesse de circulation par :

$$Q_v [m^3/s] = v [m/s] \times \frac{\pi D_{int}^2}{4}$$

Déterminer en [L/h] le débit minimal à assurer en canalisation pour respecter la réglementation relative aux bras morts ($v > 0,20$ m/s).

Déterminer en [L/h] les débits minimaux à assurer en canalisation pour respecter la température minimale de distribution.

En déduire le débit de bouclage à fournir par le circulateur.

On précise :

antenne	A	B	C	D	E	F
longueur [m]	25	35	7	15	17	8

Q 8.4 – Outre la protection sanitaire (limitation du développement du biofilm et des légionelles), le bouclage apporte le confort d'une eau chaude disponible instantanément et permet ainsi d'éviter le gaspillage d'ECS refroidie : sans bouclage, on évalue la perte quotidienne en « ECS » à 3 fois le volume des canalisations d'alimentation.

Estimer le coût quotidien des pertes en ECS évitées par le bouclage.

Estimer le coût quotidien du bouclage. Conclure.

On précise :

Pertes en ligne globales de l'installation rapportées au mètre linéaire des canalisations d'alimentation : 8,50 W/m

Puissance électrique du circulateur de bouclage : 20 W

Coût de l'énergie électrique : 0,12 €/kWh

Coût de l'eau froide sanitaire : 3,50 €/m³