

SESSION 2026

**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 autorisée selon les modalités de la circulaire du 17 juin 2021 publiée au BOEN du 29 juillet 2021.

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

Il appartient au candidat de vérifier qu'il a reçu un sujet complet et correspondant à l'épreuve à laquelle il se présente.

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. Le fait de rendre une copie blanche est éliminatoire.

Tournez la page S.V.P.

A

INFORMATION AUX CANDIDATS

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

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

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

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EAI	1416A	102	7048

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

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EAH	1416A	102	7048

USINE DE PRODUCTION D'EAU POTABLE

Toutes les études sont indépendantes les unes des autres. En outre, au sein d'une même étude, un grand nombre de questions peuvent être traitées de manière indépendante. Pour chaque question, en complément des résultats de calculs proprement dits, il convient de justifier les choix effectués et les calculs réalisés ainsi que de commenter les résultats obtenus. Une attention particulière doit être apportée à la présentation et à la clarté des explications.

Table des matières

Contexte de l'étude.....	2
Étude 1 : Dimensionnement du réservoir de traitement des boues	5
Étude 2 : Réalisation du voile du réservoir de traitement des boues	8
Étude 3 : Procédure de bétonnage du voile du réservoir de traitement des boues ..	9
Étude 4 : Installation de chantier	10
Étude 5 : Poste de pompage	11
Étude 6 : Distribution de l'eau traitée.....	14
Étude 7 : Évacuation des eaux claires.....	16
Étude 8 : Étude thermique d'une salle du bâtiment d'exploitation	17

Contexte de l'étude

La nouvelle usine de production d'eau potable (figure 1), dimensionnée pour répondre aux besoins croissants de l'agglomération de Saint-Brieuc et favoriser la solidarité départementale, produit en moyenne 25 000 m³ d'eau par jour, avec une capacité maximale de 37 000 m³. L'eau brute provient du barrage de Saint-Barthélemy et son acheminement jusqu'à l'usine se fait grâce à une nouvelle station de pompage, construite à quelques mètres du barrage.

Le processus de traitement comprend plusieurs étapes : prétraitement, clarification, élimination des micropolluants, filtration, et désinfection par UV. Une partie de l'eau produite est distribuée par le SDAEP 22 (Syndicat départemental d'alimentation en eau potable des Côtes d'Armor) pour alimenter les territoires avoisinants.



Figure 1 : usine de production d'eau potable de l'agglomération de Saint-Brieuc

Des travaux conséquents ont été réalisés pour relier le barrage à l'usine et cette dernière aux réseaux de distribution (figure 2), surmontant notamment un dénivelé de 60 mètres. L'usine, respectueuse de l'environnement, limite ses pertes d'eau et répond aux normes HQE avec des aménagements écologiques comme une gestion optimisée des eaux pluviales et des équipements énergétiquement efficaces.

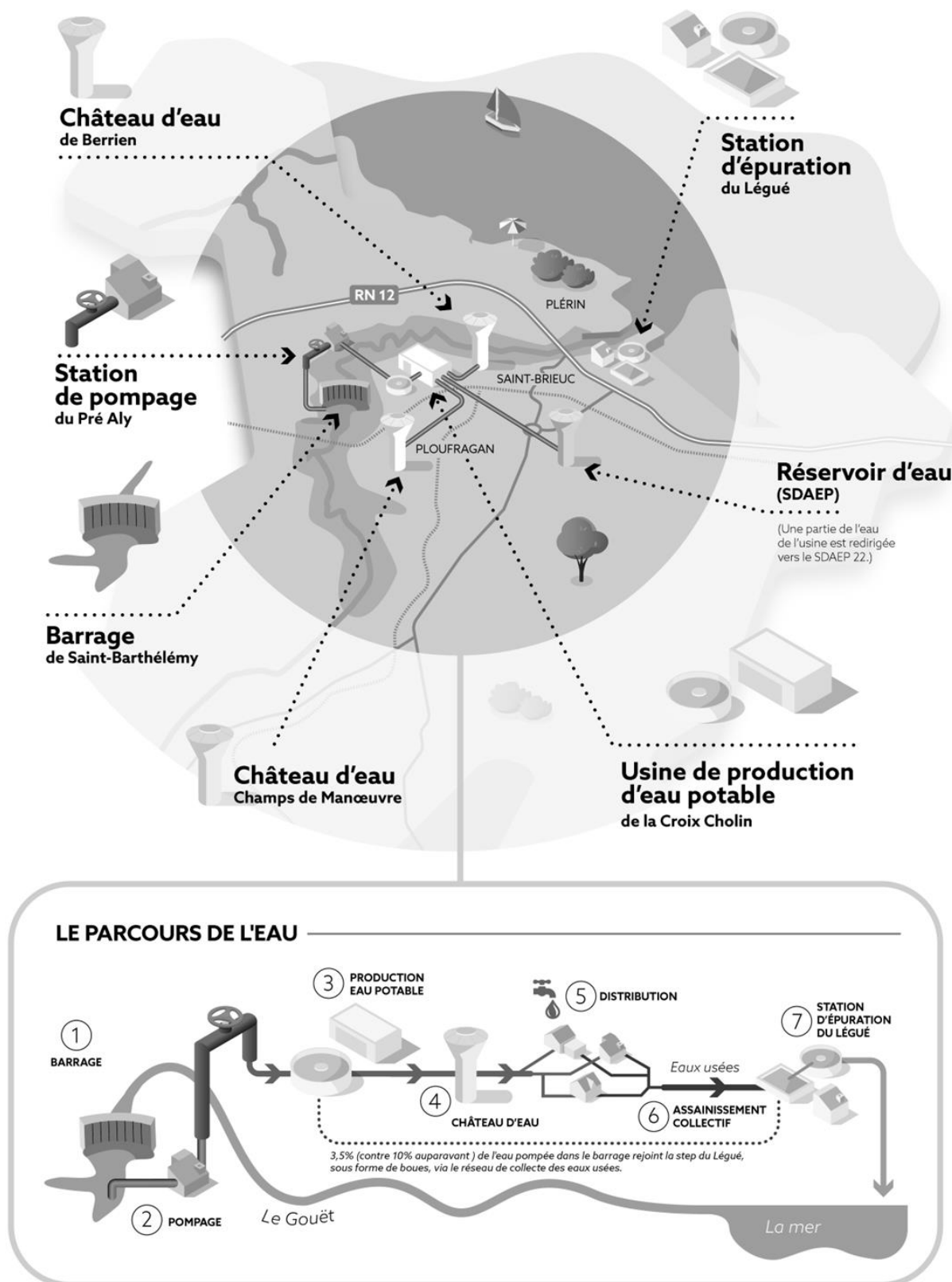


Figure 2 : Le parcours de l'eau du barrage à la mer et ses ouvrages principaux

Les études portent sur la liaison du barrage – station de pompage (figure 3) – nouvelle usine de production d'eau potable, ainsi que sur des éléments de celle-ci, notamment le bassin de stockage des boues (figure 4).



Figure 3 : barrage Saint Barthélémy – station de pompage et son bâtiment d'exploitation

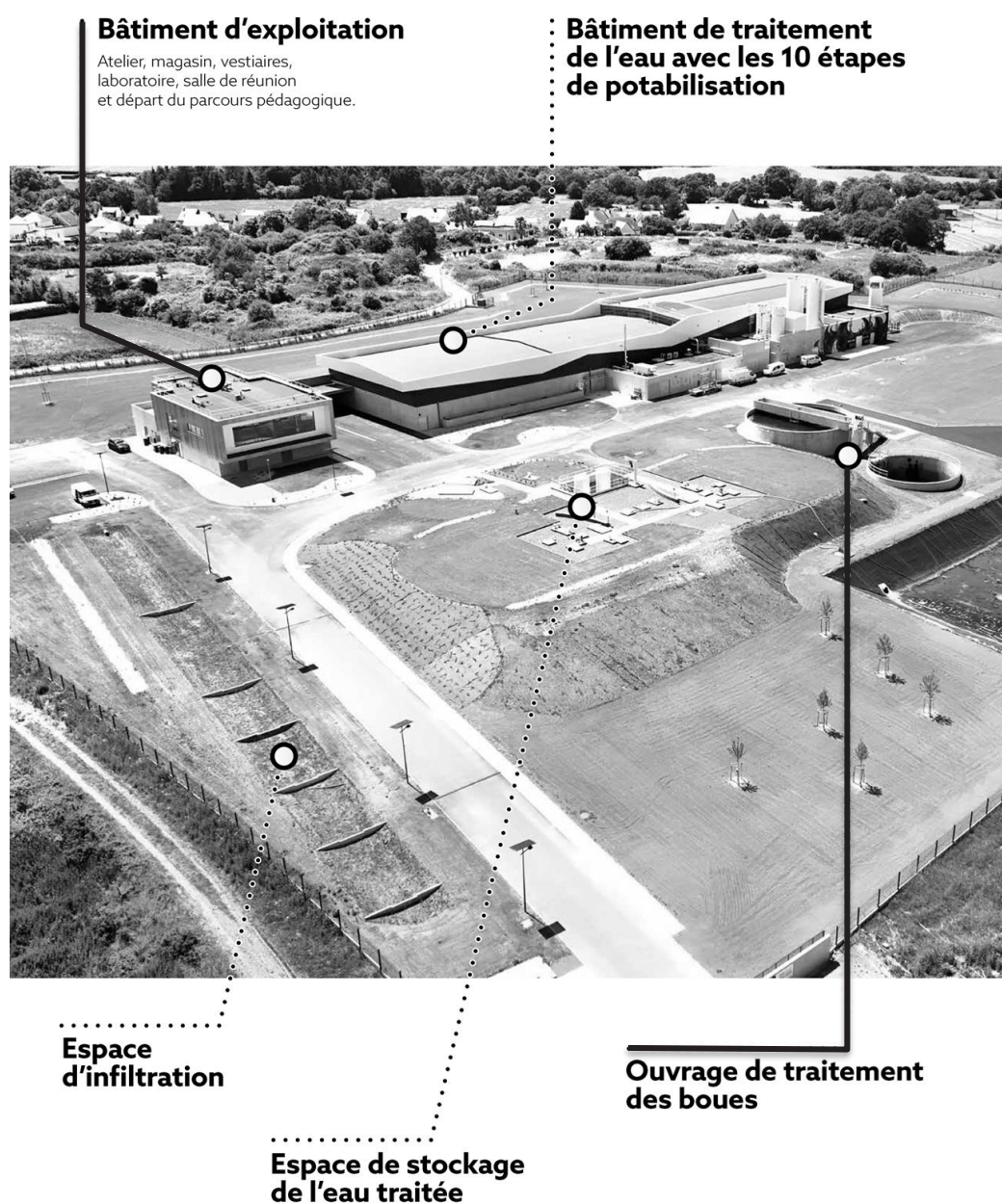
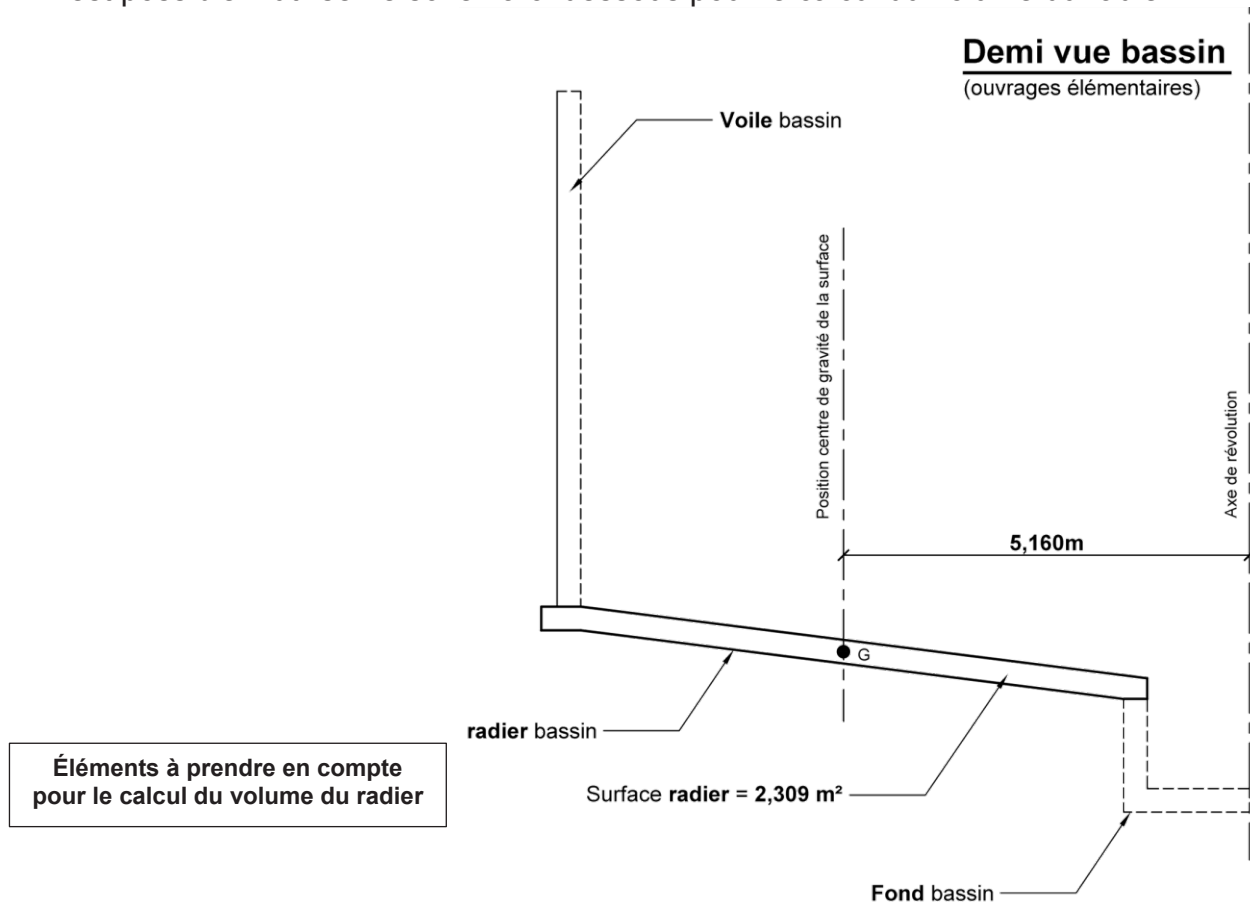


Figure 4 : usine de production d'eau potable

Étude 1 : Dimensionnement du réservoir de traitement des boues

L'objectif de cette étude est le dimensionnement de l'ouvrage de traitement des boues (figure 4). La définition de l'ouvrage se trouve dans le DT1. On néglige les réservations ainsi que les corbeaux dans la partie intérieure du réservoir.

Il est possible d'utiliser le schéma ci-dessous pour le calcul du volume du radier.

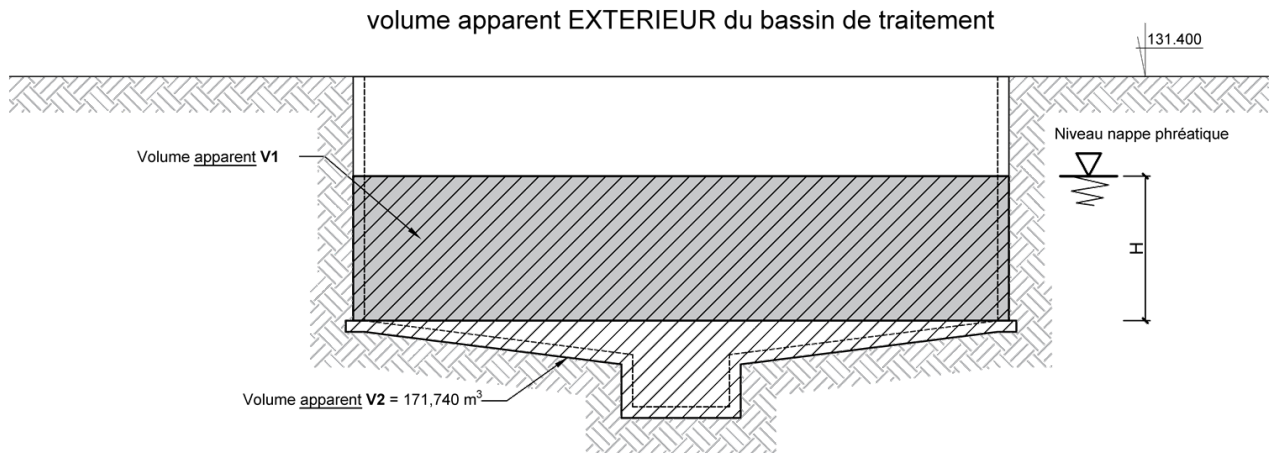


Question 1.1 Déterminer le volume de béton correspondant au réservoir : radier, voile et fond de bassin. **En déduire** la masse du réservoir en prenant $2,5 \text{ t} \cdot \text{m}^{-3}$ pour la masse volumique du béton armé.

On se place dans la situation hypothétique où :

- le bassin est entièrement remblayé (cote +131,400 NGF) ;
- le niveau maxi d'eau de la nappe phréatique serait au même niveau (cote +131,400 NGF) ;
- le bassin est entièrement vide à l'intérieur (pas d'eau de stockage, ni boues).

Question 1.2 Expliquer le phénomène physique qu'il risque de se produire dans la situation hypothétique étudiée.



Données complémentaires :

- le bassin est considéré vide à l'intérieur (sans eau ni boues) ;
- la masse globale du béton armé du bassin est de 467 tonnes ;
- volume apparent d'eau déplacée = $V1 + V2$.

Question 1.3 En prenant les hypothèses du schéma du volume ci-dessus, **déterminer** la valeur maximale de hauteur de la nappe phréatique notée H à partir de laquelle ce risque est écarté.

Question 1.4 Déduire le niveau altimétrique d'eau maximal de la nappe phréatique pour que l'ouvrage soit en sécurité vis-à-vis de ce risque.

Hypothèse de dimensionnement :

- le bassin est remblayé à la cote +128,200 NGF ;
- le niveau maximal d'eau de la nappe phréatique ($10 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-3}$) est situé à la cote +126,000 NGF ;
- le bassin peut stocker de l'eau ($11 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-3}$) jusqu'au niveau +131,400 NGF ;
- le poids volumique du sol $19 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-3}$ et coefficient de poussée de 0,5 ;
- le béton utilisé est un béton C40/50.

Question 1.5 Déterminer, sur le DR1, les différents cas de charges simples envisageables pour cette structure. **Donner** le cas de charge le plus dimensionnant pour le lit d'armatures intérieur et extérieur.

Le fascicule 74 (Construction des réservoirs en béton et réhabilitation des réservoirs en béton ou en maçonnerie) impose une section d'armature de 0,125% de l'épaisseur (en m) sur chaque face et dans chaque direction.

Question 1.6 Calculer cette section minimale en cm^2 vis-à-vis du fascicule 74.

L'article 9.6.1(102) de l'Eurocode (EC2) partie 3 impose également des sections minimales d'armatures selon l'extrait suivant :

1. En section entièrement **tendue** pour le total des deux faces :

$$A_{s,min} = \frac{b \cdot h \cdot f_{ctk,0,05}}{(0,9 \cdot f_{yk} - \alpha_1 \cdot f_{ctk,0,05})} \quad [\dots] (9.101)$$

2. En **flexion simple** sur la face tendue :

$$A_{s,min} = \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot \frac{b \cdot h}{4,5} \quad [\dots] (9.102)$$

Données complémentaires :

- $\alpha_1 = 15,21$
- $f_{yk} = 500$ MPa (limite caractéristique d'élasticité de l'acier de béton armé)
- h : on considère l'épaisseur du voile
- b ou b_t : une base de 1 m de voile tendu
- $d = 0,25$ m de hauteur utile d'une section droite
- DT2 : tableau 3.1 de l'EC2 (extrait)

Question 1.7 Calculer les valeurs de f_{ctm} et de $f_{ctk,0,05}$ à partir des données et du tableau 3.1 de l'EC2 fourni dans le DT2 .

Question 1.8 Calculer la section minimale en cm^2 , en section entièrement tendue pour le total des deux faces et en flexion simple sur la face tendue.

L'article 9.2.1.1 de l'EC2 partie 1 impose une section minimale correspondant à la condition de non-fragilité selon l'extrait suivant :

$$A_{s,min} = 0,26 \cdot \frac{f_{ctm}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d \quad A_{s,min} \geq 0,0013 \cdot b_t \cdot d \quad [\dots] (9.1N)$$

Question 1.9 Calculer la section minimale en cm^2 , pour la condition de non fragilité.

Question 1.10 En considérant une section de barre HA10 de $0,785 \text{ cm}^2$ et une section de barre HA12 de $1,131 \text{ cm}^2$, **comparer** par rapport aux armatures du panneau bas (PB) du plan de ferrailage dans le DT3.

Étude 2 : Réalisation du voile du réservoir de traitement des boues

L'objectif de cette étude est de définir les moyens liés à la réalisation du voile du bassin.

Données :

- on utilise des banches Sateco® de longueur 2,400 m uniquement (DT4), ayant une charge admissible de $10 \text{ t}\cdot\text{m}^{-2}$,
- benne à béton de 1 000 L TICD PF de Sécator®

Étude et choix du coffrage

Rappel : un train de banche peut être composé parmi les éléments suivants : sous-hausse, banche et réhausse pour une longueur de 2,400 m de panneau.

Question 2.1 Déterminer la composition du coffrage d'un train de banche permettant de réaliser la hauteur du voile à partir de la documentation du fabricant (DT4).

On considère une poussée hydrostatique du béton de $25 \text{ kN}\cdot\text{m}^{-3}$.

Question 2.2 Déterminer la pression hydrostatique du béton frais sur le coffrage. **Compléter** le DR2.

Question 2.3 Déterminer la surface reprise par les tiges de serrages les plus sollicitées pour les niveaux 1,2 et 3. **Calculer** la charge en kN reprise par chaque tige de serrage des niveaux 1,2 et 3 (DR2).

Question 2.4 Déterminer la tige la plus sollicitée. À partir de la documentation du fabricant (DT7), **en déduire** celles à utiliser.

Les banches utilisées en extérieur (rayon 8,800 m) et en intérieur (rayon 8,500 m) du voile à réaliser sont toutes de longueur 2,400 m. En conséquence, on peut prévoir un décalage des banches en vis-à-vis (un train de banche extérieur est centré sur une train de banche intérieur).

Question 2.5 À l'aide du DT5, **calculer** la dimension des cales extérieures en bois à utiliser lors de la mise en place des banches extérieures.

Étude 3 : Procédure de bétonnage du voile du réservoir de traitement des boues

L'objectif de cette étude est de déterminer les conditions et méthode de mise en œuvre des 108,600 m³ de béton pour la réalisation du voile du réservoir. La procédure d'exécution choisie fixe à quatre le nombre de phases verticales de bétonnage.

Pour cette étude, on donne :

- le temps de prise du ciment est estimé à 2 h,
- la centrale à béton se situe à 20 minutes du chantier,
- le temps de remplissage de la benne à béton de 1 000 L est estimé à 1 minute (temps de mise en place compris),
- le temps de transport vers le coffrage est de 1 minute,
- le temps de mise en œuvre du béton dans le coffrage est de 2 minutes,
- le temps de retour pour le rechargement de la benne est de 1 minute.

Question 3.1 Déterminer le volume moyen de béton à mettre en œuvre pour une phase.

Le coffrage utilisé a une pression admissible de 10 t·m⁻², soit 100 kN·m⁻².

Question 3.2 Vérifier la possibilité de bétonner la totalité d'une phase en prenant uniquement une poussée hydrostatique du béton sur le coffrage.

Question 3.3 Indiquer la hauteur à partir de laquelle on ne peut plus bétonner sous pression hydrostatique.

Le bétonnage se réalise à l'aide d'une benne à béton et de la grue dédiée à la construction des réservoirs.

Question 3.4 Déterminer le temps de cycle en minutes pour un mètre cube de béton à l'aide des données fournies (du chargement de la benne, à son retour en place).

Question 3.5 Indiquer le temps nécessaire pour bétonner la phase. **Conclure** en utilisant le résultat de la question 3.3.

Question 3.6 Proposer une solution de mise en œuvre (sans accélérateur de prise, et en conservant le même béton).

Question 3.7 Déterminer la vitesse de bétonnage (ou la vitesse d'ascension du béton dans le coffrage) en m·h⁻¹.

Étude 4 : Installation de chantier

L'objectif de cette étude est de vérifier l'adéquation de la grue choisie pour la réalisation des réservoirs de l'usine (espace de stockage de l'eau traitée et ouvrage de traitement des boues - figure 5).

On limite l'étude à l'utilisation :

- de la benne à béton de 1 000 L TICD PF de Sécator® (DT6) ;
- du train de banche (DT4) ;
- des armatures (DT3).

Question 4.1 Déterminer la masse des différents éléments à mettre en œuvre pour la réalisation du réservoir de traitement des boues.

Question 4.2 À l'aide du DT8, **déterminer** la portée maximale pour chacun des éléments.

Question 4.3 Conclure sur l'adéquation de la grue définie sur le DT8.

Question 4.4 Lors de la phase de coffrage ou décoffrage, **préciser** si le déplacement de deux trains de banches en même temps est possible. **Justifier** la réponse.



Figure 5 : vue générale de l'installation de chantier

Étude 5 : Poste de pompage

Le barrage du Gouet, dans les Côtes d'Armor, alimente une centrale hydro-électrique. Ce barrage alimente également la nouvelle usine de traitement d'eau potable. La hauteur d'eau dans le barrage peut varier entre deux côtes extrêmes 87 m et 56 m.

L'objectif de cette étude est d'étudier le fonctionnement des pompes au niveau du poste de pompage, pour deux configurations de hauteur d'eau dans le barrage. La figure 6 présente schématiquement le réseau d'alimentation de l'usine.

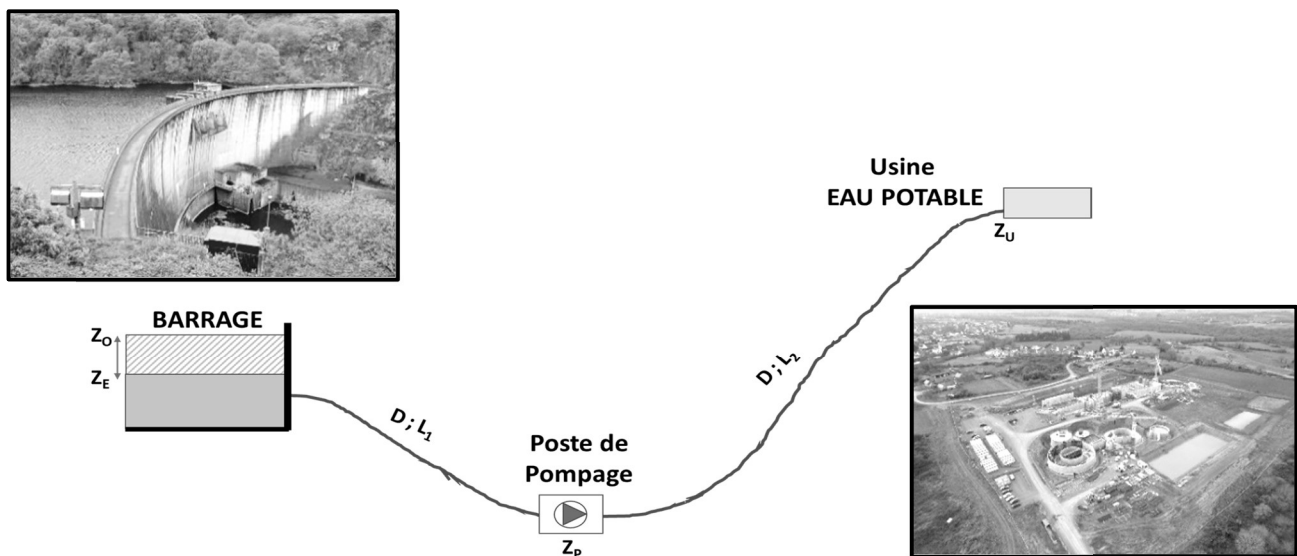


Figure 6 – Représentation schématique du réseau d'alimentation de l'usine

Pour les besoins de l'étude, on considère deux cas : $Z_O = 84$ m (cote moyenne ordinaire d'eau dans le barrage) et $Z_E = 67$ m (cote observée habituellement en fin d'étiage).

Le terrain retenu pour l'implantation du poste de pompage est à la cote $Z_P = 55$ m.

La cote d'arrivée à l'usine de traitement d'eau potable est à : $Z_U = 125$ m.

Pour assurer l'alimentation de l'usine en eau brute, les ouvrages et équipements suivants doivent être mis en place :

- une prise d'eau brute au niveau du barrage ;
- une canalisation en charge raccordée sur la prise d'eau, diamètre nominal $D = 700$ mm, de longueur $L_1 = 580$ m ;
- un poste de pompage comportant 3 pompes en parallèle ;
- une canalisation de refoulement jusqu'à l'usine, diamètre nominal $D = 700$ mm, de longueur $L_2 = 1\,120$ m.

Les besoins de pompage en eau brute sont fixés à $2\,000 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. La pression demandée à l'entrée de l'usine (P_U) est de 1 bar. Les pressions sont exprimées en pression relative.

Le coefficient de pertes de charges linéaires est estimé à $j = 2,6 \text{ mmCE} \cdot \text{m}^{-1}$.

Les pertes de charge singulières liées aux équipements (grilles, vannes, clapets, etc.) sont estimées à :

- 0,5 mCE sur la canalisation raccordée à la prise d'eau,
- 1 mCE sur la canalisation de refoulement.

Question 5.1 Calculer les pertes de charge linéaires des canalisations à l'amont et à l'aval du poste de pompage.

Question 5.2 Calculer la hauteur manométrique que doit fournir le poste de pompage, lorsque la hauteur d'eau du barrage est à la cote ordinaire Z_O . **Préciser** les hypothèses retenues, si nécessaire.

Question 5.3 Calculer la hauteur manométrique que doit fournir le poste de pompage, lorsque la hauteur d'eau du barrage est à la cote d'étiage Z_E . **Préciser** les hypothèses retenues, si nécessaire.

La pression maximale à l'aspiration des pompes ne doit pas dépasser 3,6 bars.

Question 5.4 Vérifier la pression maximale à l'aspiration des pompes pour les deux situations étudiées (Z_O et Z_E).

Les besoins de pompage en eau brute sont fixés à $2\,000 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$. Le débit est obtenu grâce à 2 pompes identiques du type 250-500/2500, montées en parallèle (la 3^{ème} pompe assure un secours en cas de dysfonctionnement).

Les courbes du modèle de pompe sont présentées dans le DT10 pour une vitesse de rotation de $1\,475 \text{ tr} \cdot \text{min}^{-1}$.

Question 5.5 Pour la situation d'étiage (Z_E), **positionner** le point de fonctionnement de l'installation sur le graphique des courbes de pompes (DR3). **Préciser** la valeur du rendement attendu pour une pompe (DT10).

Question 5.6 Pour la situation ordinaire (Z_O), **tracer** l'allure de la courbe caractéristique du réseau sur le graphique de la courbe de pompe (DR3). **Relever** le débit et la hauteur manométrique du nouveau point de fonctionnement sur le graphique des courbes de pompes (DR3). **Commenter**.

Question 5.7 Pour la situation ordinaire (Z_0), et afin de maintenir le débit souhaité à $2\,000\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$, on modifie la vitesse de rotation des pompes, **calculer** la nouvelle vitesse de rotation grâce à la loi de similitude ci-dessous.

Loi de similitude.

Pour une pompe centrifuge, si la courbe caractéristique H en fonction de Q est connue pour une vitesse de rotation n_1 , alors tous les points de la courbe caractéristique à la vitesse n_2 peuvent être calculés à partir de la relation suivante :

$$H_2 = H_1 \cdot \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^2$$

Étude 6 : Distribution de l'eau traitée

La nouvelle usine de traitement d'eau potable doit alimenter un réservoir à surface libre déjà existant afin de desservir plusieurs communes. Pour assurer le transfert entre l'usine et le réservoir ($Z_R = 139$ m), on prévoit :

- une bache de stockage à surface libre, pour assurer un tampon entre l'usine et la station de pompage. Le niveau de la surface libre est maintenu constant à $Z_B = 125$ m.
- une station de pompage qui fournit un débit de $1\,850\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ pour une hauteur manométrique de 21,5 mCE.

L'objectif de cette étude est de valider la pertinence de la mise en place d'une seconde conduite B, en parallèle de la conduite A existante, pour assurer le transfert entre l'usine et le réservoir (voir figure 7).

Dans cette partie de l'étude, les conduites ont une valeur de rugosité $\varepsilon = 1$ mm. La viscosité cinématique de l'eau froide est égale à $\nu_{10^\circ\text{C}} = 1,3 \cdot 10^{-6}\text{ m}^2\cdot\text{s}^{-1}$.

Un formulaire hydraulique est disponible dans le DT9.

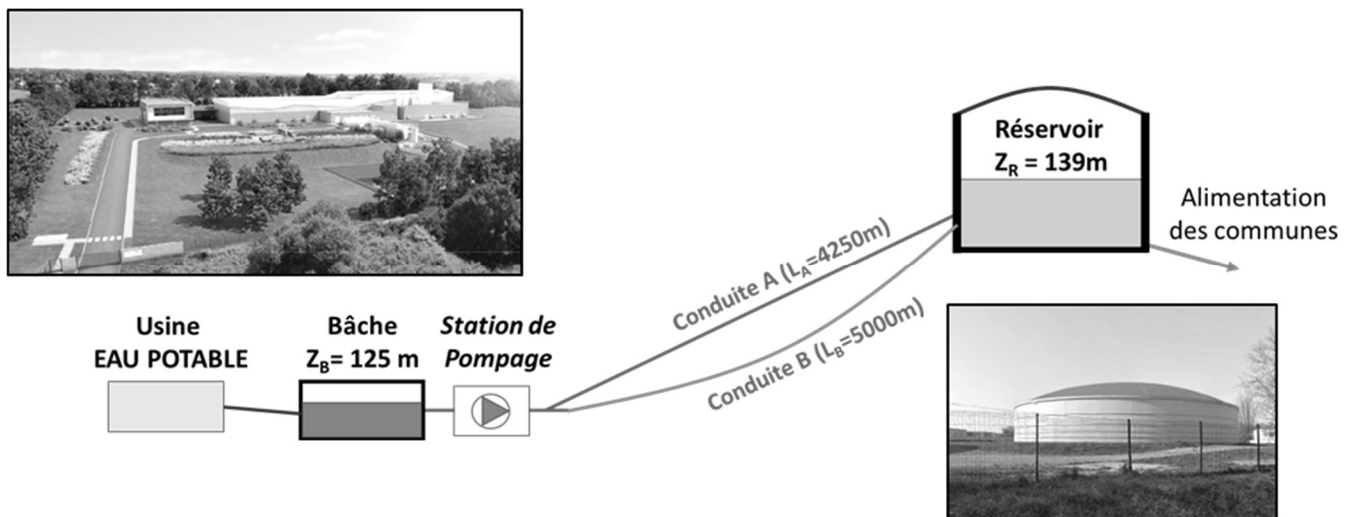


Figure 7 – Représentation du réseau de transfert entre l'usine et le réservoir

On étudie tout d'abord la solution qui consiste à réutiliser uniquement la conduite A (diamètre $D_A = 600$ mm, longueur $L_A = 4\,250$ m) qui est déjà en place entre l'usine et le réservoir. Le débit à transférer vaut $1\,850\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$.

Question 6.1 Identifier le type d'écoulement dans la conduite à l'aide du diagramme de Moody disponible dans le DT9.

Question 6.2 Déterminer la valeur du coefficient de frottement λ pour la conduite.

Question 6.3 Calculer les pertes de charges linéaires liées à la conduite A pour un débit de $1\,850\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$.

Question 6.4 Préciser la hauteur manométrique nécessaire pour assurer le transfert entre l'usine et le réservoir. **Conclure.**

Afin d'atteindre le débit souhaité de $1\,850\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$, on décide de créer une seconde conduite positionnée entre la station de pompage et le réservoir, en parallèle à la conduite A. Le tracé de la seconde conduite a une longueur de $L_B = 5\,000$ m. On cherche à déterminer le diamètre D_B de cette conduite.

Question 6.5 Déterminer la valeur des pertes de charge admissibles pour chaque conduite, en considérant les caractéristiques de la station de pompage actuelle (débit de $1\,850\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ et hauteur manométrique de $21,5\text{ mCE}$).

Question 6.6 Pour la conduite A, **calculer** le débit admissible dans cette situation (**préciser** les hypothèses, si nécessaire).

Question 6.7 Déterminer le débit dans la conduite B et son diamètre théorique B (**préciser** les hypothèses, si nécessaire).

Question 6.8 Sélectionner une conduite dans la page du fournisseur (DT11).

Étude 7 : Évacuation des eaux claires

Les processus et traitements de l'eau dans l'usine génèrent des « eaux claires ». Ces eaux claires sont compatibles avec le rejet au milieu récepteur : elles sont stockées dans une lagune de capacité 1 000 m³ dont la vidange est transférée jusqu'à la rivière, en aval du barrage, via le réseau existant d'eau pluviale (voir Figure 8).

L'objectif de cette étude est de valider la réutilisation d'une conduite en place.

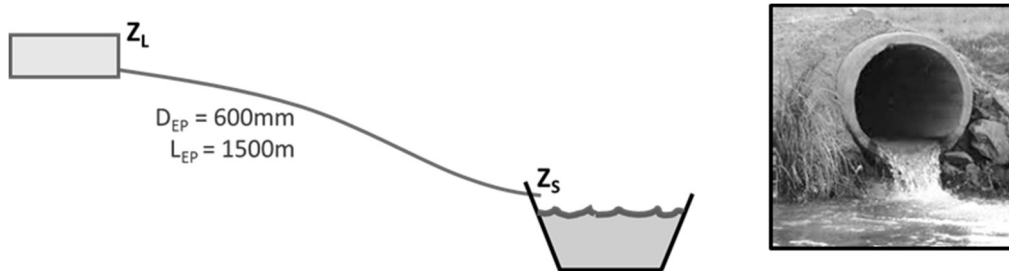


Figure 8 – Rejet des eaux claires vers le milieu récepteur

La cote du niveau d'eau de la lagune est à : $Z_L = 125$ m. Le débit de vidange des eaux claires est estimé à 150 m³·h⁻¹.

La conduite d'eau pluviale existante a un diamètre $D_{EP} = 600$ mm et une longueur $L_{EP} = 1\,500$ m. Elle est en PRV (Polyester renforcé de fibres de verre), le coefficient de Strickler est égal à $K_S = 90$ m^{1/3}·s⁻¹.

Un levé topographique de la conduite a été réalisé par géoradar pour reconstituer le profil en long de celle-ci. Le dénivelé total sur le levé réalisé est d'environ 50 m.

Ce réseau fonctionne en écoulement gravitaire à surface libre. Pour cette partie de l'étude, on suppose que l'écoulement se fait en régime uniforme. En régime permanent uniforme, la pente de l'écoulement (ou pente hydraulique) est égale à la pente du radier.

Un formulaire hydraulique est disponible dans le DT9.

Question 7.1 Dans l'hypothèse d'un régime permanent uniforme, **calculer** la pente de pose moyenne de la conduite et **en déduire** la pente de l'écoulement I .

La section de la canalisation d'eau pluviale a été initialement dimensionnée en considérant un taux de remplissage de 70 %.

Question 7.2 Déterminer le débit d'eau de pluie évacué par la conduite dans ces conditions. **Indiquer** si le débit d'eaux claires peut perturber le bon fonctionnement de la conduite par temps de pluie.

Pour limiter les risques de dégradation des canalisations, on préconise de limiter les vitesses d'écoulement dans un réseau d'assainissement à 4 m·s⁻¹ (au-delà de cette valeur, il faut adopter un matériau résistant comme la fonte ou le polyéthylène à haute densité).

Question 7.3 Calculer la vitesse d'écoulement par temps de pluie et **conclure**.

Étude 8 : Étude thermique d'une salle du bâtiment d'exploitation

Le bâtiment d'exploitation permet d'assurer le suivi de l'usine mais également d'accueillir des visiteurs dans une grande salle de réunion. Le plan de la salle de réunion ainsi que les compositions de parois sont donnés dans les DT12 et DT15.

Des convecteurs électriques assurent le chauffage de la salle de réunion.

Durant la saison de chauffe, une température de 19°C est demandée dans la salle de réunion. La température extérieure minimale est de - 4°C.

La ventilation est assurée par une Centrale de traitement de l'air (CTA) double-flux comprenant un échangeur à plaques à haut rendement 80% (avec fonction free-cooling) et une batterie d'appoint électrique. Le schéma de la CTA est disponible dans le DT13.

Les ventilateurs de la CTA sont à débit variable. Le débit d'air soufflé est égal au débit d'air neuf hygiénique. L'air est soufflé à travers des bouches de soufflage positionnées en faux plafond. Des registres motorisés placés dans les gaines aérauliques de la salle de réunion participent à la régulation du débit d'air en fonction de l'occupation.

Hors occupation, le débit minimal requis dans la salle est de 0,5 volume.h⁻¹.

Dans cette étude, on considère que :

- la masse volumique de l'air humide $\rho = 1,2 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
- la capacité thermique massique de l'air humide $C = 1\,020 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

L'objectif principal de cette étude est d'étudier la fonction free-cooling de la CTA de la salle de réunion, en mi-saison.

Question 8.1 Exposer le principe général du free-cooling et son intérêt.

Hiver, en période d'inoccupation

On considère le cas de l'hiver, en période d'inoccupation.

Question 8.2 Lorsque la température intérieure vaut 19°C, **calculer** la valeur de la température d'air soufflé après l'échangeur.

Question 8.3 Pour insuffler l'air neuf à température neutre (19°C) dans le local, **calculer** la puissance fournie par la batterie d'appoint.

Question 8.4 À partir des données et plans disponibles dans les DT12 et DT15, **compléter** le tableau DR4 pour faire une estimation des déperditions statiques à travers les parois de la salle de réunion. **Préciser** les hypothèses et simplifications considérées.

Question 8.5 En déduire la puissance des convecteurs électriques à installer dans la salle de réunion (on considère que l'air neuf est soufflé à température neutre dans la salle).

Mi-saison, en période d'occupation

La salle de réunion peut accueillir 50 personnes. En période d'occupation, le débit d'air neuf hygiénique par occupant vaut $25 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$.

Dans un environnement à 19°C , on considère qu'une personne dégage environ 90 W de chaleur sensible.

On suppose que la batterie d'appoint de la CTA est à l'arrêt. Les apports solaires sont négligés.

Question 8.6 Réaliser le bilan thermique simplifié de la salle de réunion avec une occupation maximale, à mi-saison ($T_{\text{ext}} = 10^\circ\text{C}$).

Question 8.7 Dans cette situation, **déterminer** la puissance nécessaire pour maintenir une température intérieure à 19°C . **Conclure**.

Question 8.8 En utilisant le module « by-pass motorisé » de la CTA, l'air neuf ne traverse plus l'échangeur. Dans cette configuration, **préciser** la température d'air soufflé. **Analyser** l'opportunité d'utiliser cette fonction à mi-saison, dans la salle de réunion occupée.

Variante de toiture

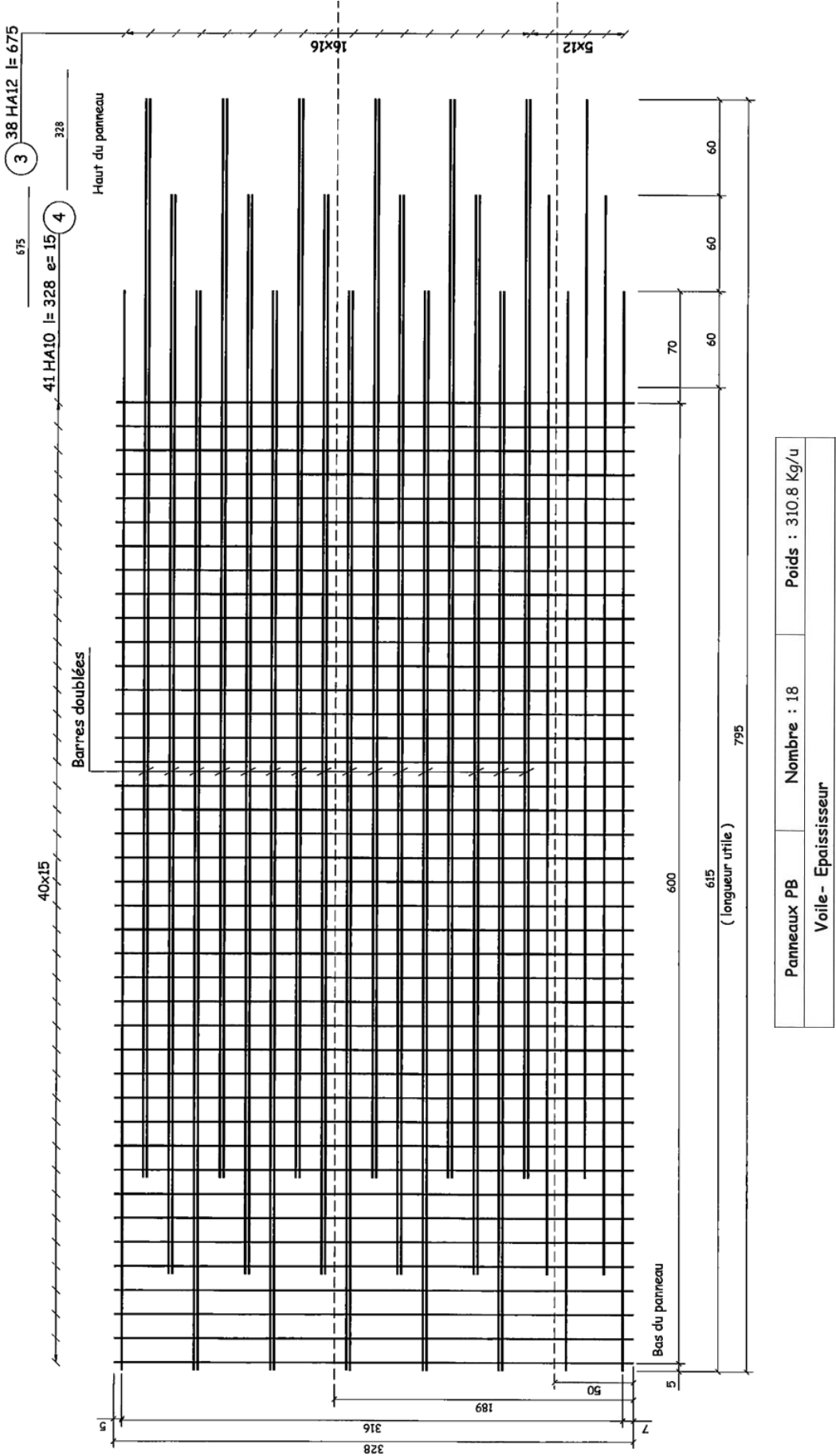
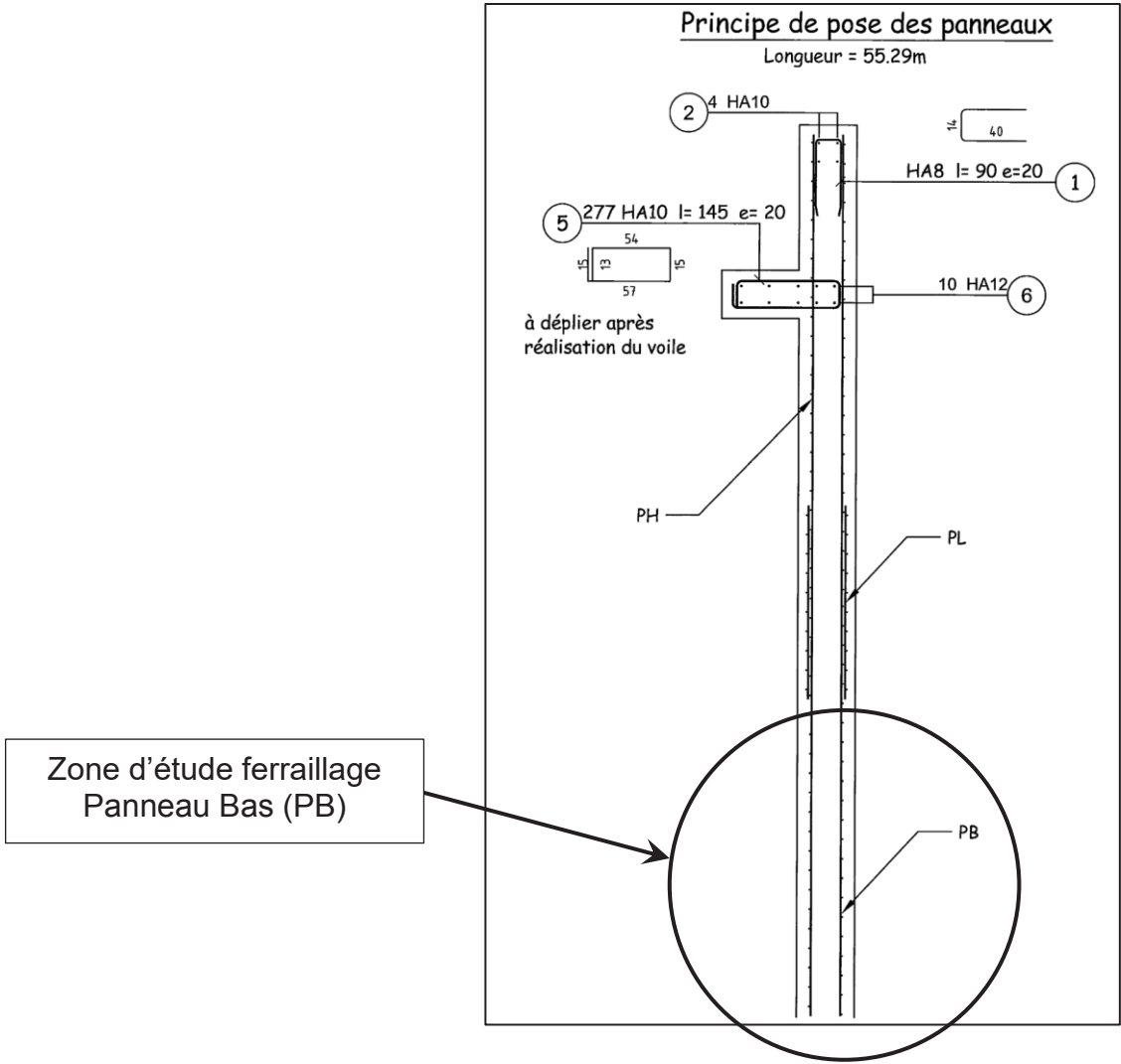
La maîtrise d'ouvrage a demandé l'étude d'une variante avec toiture végétalisée sur charpente bois. La solution technique est présentée dans le DT14.

Question 8.9 Préciser si le calcul de déperditions réalisé précédemment est impacté de manière significative par cette nouvelle composition de paroi. **Justifier**.

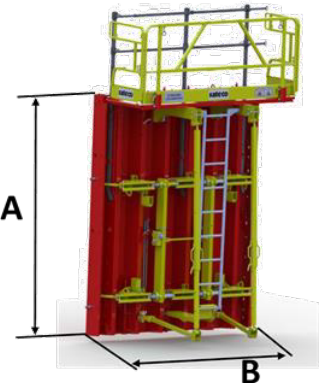
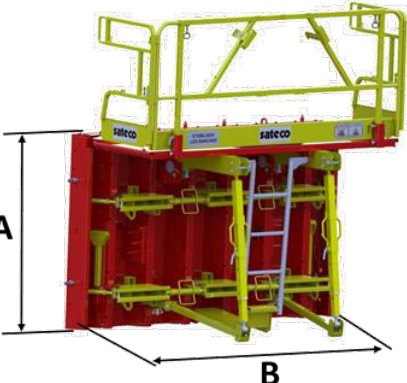
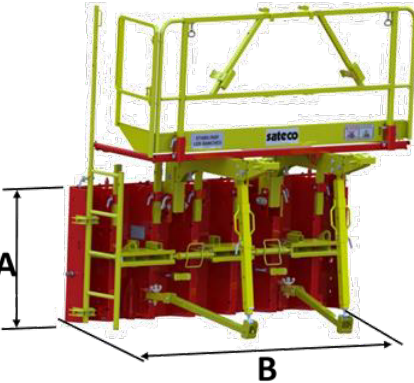
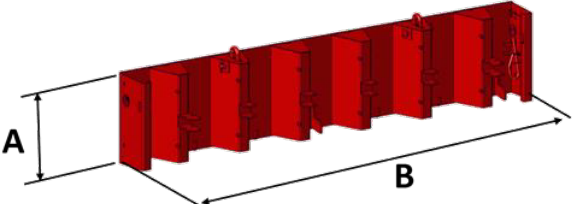
Question 8.10 Indiquer quels sont les **avantages/inconvénients** de la mise en place d'une toiture végétalisée. **Conclure**.

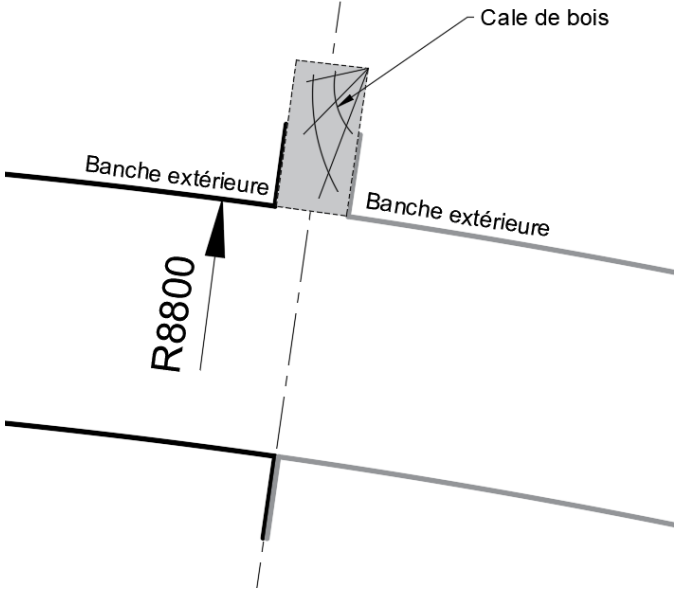


Tableau 1 – Caractéristiques de résistance et de déformation des bétons (tableau 3.1 de l'EC2)															
Classes de résistance du béton														Expression analytique Commentaires	
f_{ck} (MPa)	12	16	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70	80	90	
$f_{ck,cube}$ (MPa)	15	20	25	30	37	45	50	55	60	67	75	85	95	105	
f_{cm} (MPa)	20	24	28	33	38	43	48	53	58	63	68	78	88	98	$f_{cm} = f_{ck} + 8$ (MPa)
f_{ctm} (MPa)	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,2		3,8	4,1	4,2	4,4	4,6	4,8	5,0	$f_{ctm} = 0,30 f_{ck}^{(2/3)} \leq C50/60$ $f_{ctm} = 2,12 \ln (1 + (f_{cm}/10)) > C50/60$
$f_{ctk,0,05}$ (MPa)	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,2		2,7	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4	3,5	$f_{ctk,0,05} = 0,7 f_{ctm}$
$f_{ctk,0,95}$ (MPa)	2,0	2,5	2,9	3,3	3,8	4,2	4,6	4,9	5,3	5,5	5,7	6,0	6,3	6,6	$f_{ctk,0,95} = 1,3 f_{ctm}$
E_{cm} (GPa)	27	29	30	31	33	34	35	36	37	38	39	41	42	44	$E_{cm} = 22 [(f_{cm})/10]^{0,3}$ (f_{cm} en MPa)

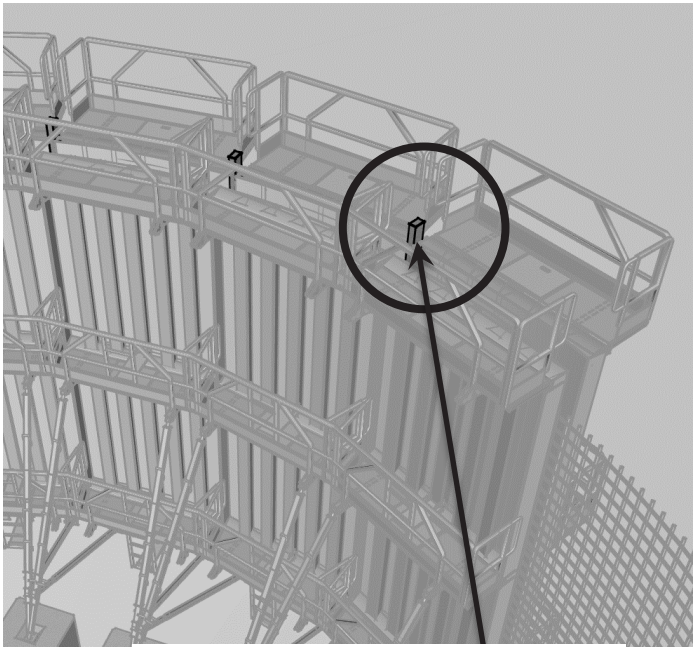


Gamme de panneaux

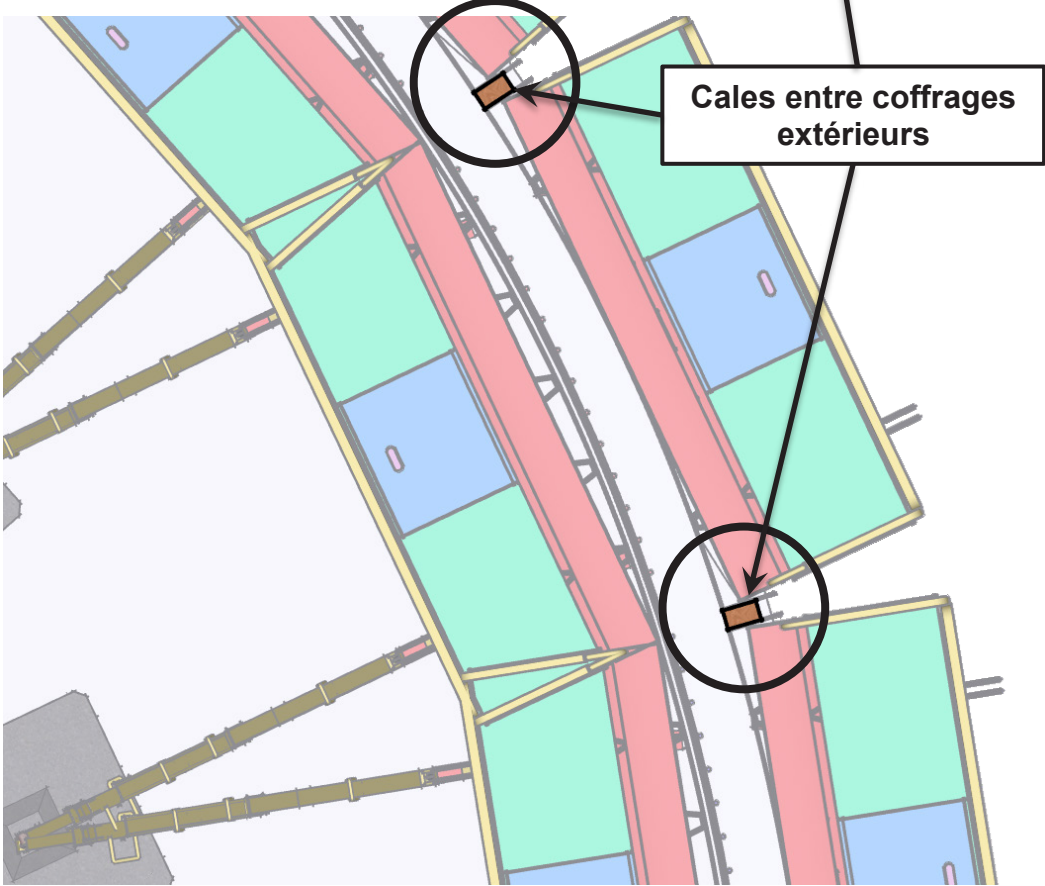
Type	A (en mm)	B (en mm)	Poids - tôle ep. 5mm (en Kg)
Panneau 	3000	2400	1083
	3000	2300	1006
	3000	1656	823
	3000	1518	777
Sous Hausse 	1500	2400	643
	1500	2300	607
	1500	1656	512
	1500	1518	471
Sous Hausse 	1000	2400	454
	1000	2300	428
	1000	1656	413
	1000	1518	363
Rehausse 	500	2400	216
	500	2300	210
	500	1656	168
	500	1518	165



Détail position cale de jonction extérieure



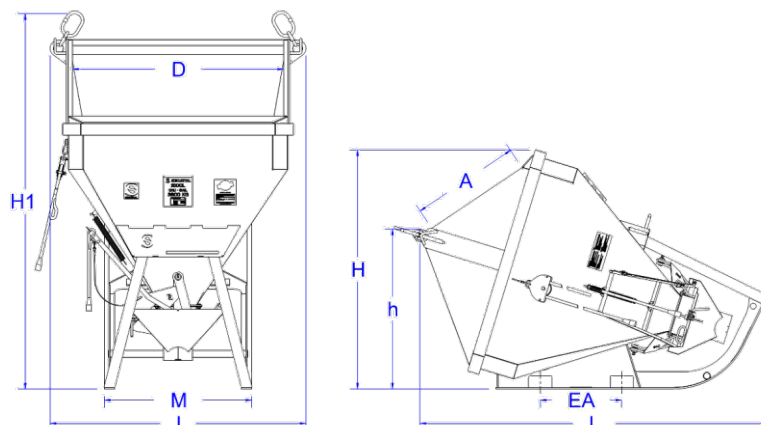
Élévation 3D du coffrage



Cales entre coffrages extérieurs

Vue en plan du coffrage

Document technique DT6 Document Benne à béton 1000L TICD PF SECATOL (extrait)



CAPACITE	CMU	DIMENSIONS UTILES				COTES HORS TOUT			TIC		TUC	
*		H1	h	D	A	L	I	H	CODE	POIDS	CODE	POIDS
L	kg	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm		kg		kg
600	1440	2 025	827	1 160	572	1 867	1 414	1 294	33060BTILE	288	33060BTULE	288
800	1920	2 165	874	1 160	572	2 002	1 414	1 332	33080BTILE	304	33080BTULE	306
1000	2400	2 305	912	1 160	572	2 137	1 414	1 369	33100BTILE	322	33100BTULE	325
1250	3000	2 462	1 040	1 450	782	2 285	1 757	1 608	33125BTILE	485	33125BTULE	488
1500	3600	2 574	1 073	1 450	782	2 392	1 757	1 641	33150BTILE	506	33150BTULE	508

Document technique DT7 Document Tiges de coffrage (extrait)

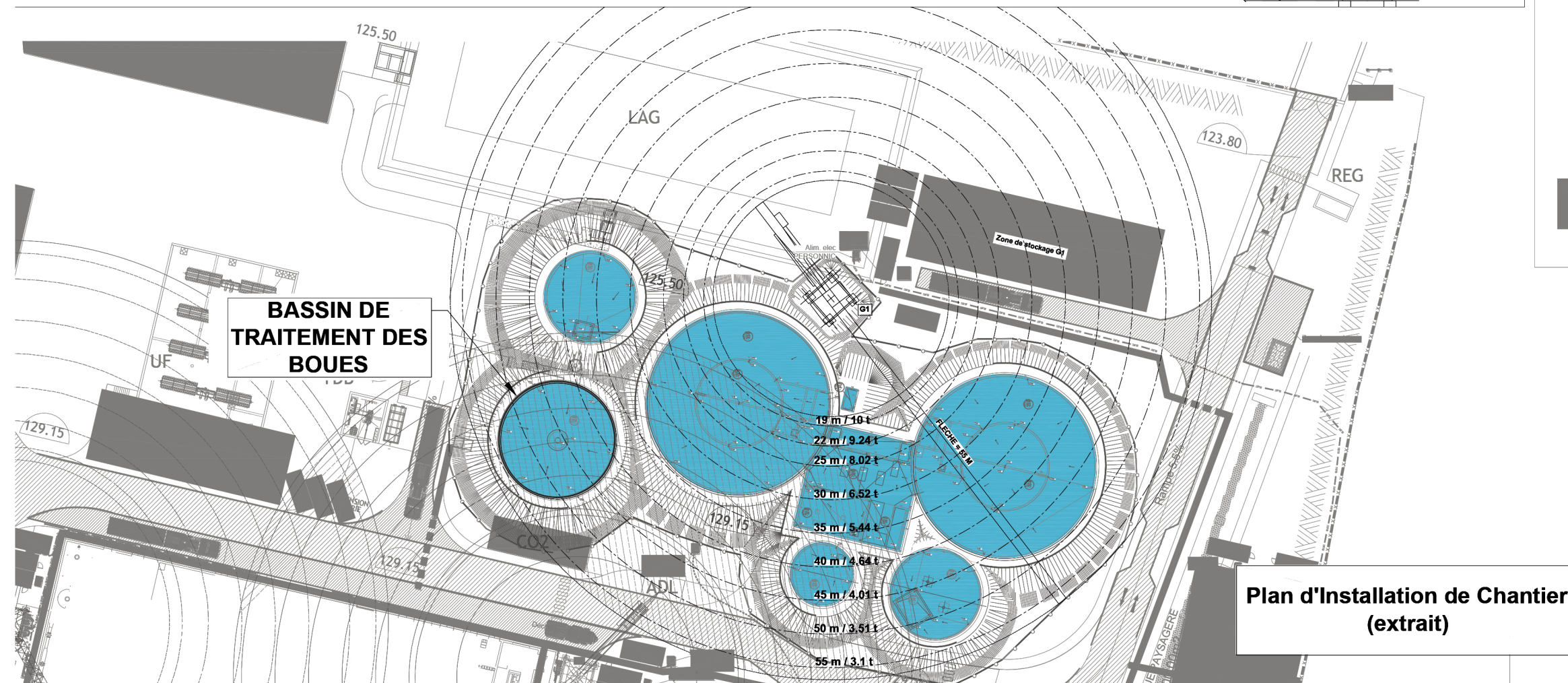
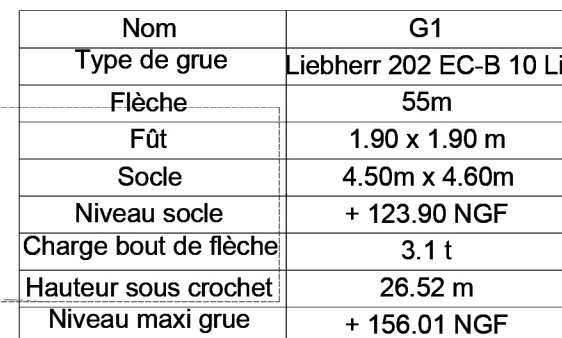
TOURBILLON® FA TIGES DE COFFRAGE

- Tiges de coffrage en acier de très grande qualité et à haute résistance
- Limite élastique = 900 N/mm² / Diamètres 17, 23 et 30 mm
- Résilience supérieure à 28 J à -20°C / Barres électro-zinguées disponibles
- Filetage robuste et autonettoyant / Montage et démontage aisés
- Gamme étendue d'accessoires de qualité



DIAMÈTRES ET CHARGES CARACTÉRISTIQUES – TOURBILLON® FA

Diamètre nominal	Diamètre du noyau	Diamètre extérieur	Section en mètre	Masse	Pas	Charge de rupture garantie	Limite élastique garantie	Charge d'utilisation
mm	mm	mm	Mm ²	kg/m	mm	kN	kN	kN
17	15	17	173	1,41	10	195	159	95
23	20	23	314	2,51	10	345	282	172
30	26,5	30	551	4,48	13	606	495	290



Équation de Bernoulli généralisée (exprimée en mètres de colonne d'eau, mCE) entre deux sections d'écoulement :

$$\frac{P_1}{\rho \cdot g} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho \cdot g} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} + \text{Pertes de charge}$$

Où :

- P_i est la pression du fluide au point i de la conduite en Pa ;
- V_i est la vitesse du fluide au point i de la conduite en $m \cdot s^{-1}$;
- Z_i est l'altitude du point i de la conduite en m ;
- ρ est la masse volumique du fluide en $kg \cdot m^{-3}$;
- g est l'accélération de la pesanteur en $m \cdot s^{-2}$.

Nombre de Reynolds :

$$Re = \frac{V \cdot D}{\nu} = \frac{\rho \cdot V \cdot D}{\mu}$$

Où :

- V est la vitesse du fluide dans la conduite en $m \cdot s^{-1}$;
- D est le diamètre de la conduite en m ;
- ν est la viscosité cinématique du fluide en $m^2 \cdot s^{-1}$;
- μ est la viscosité dynamique du fluide en $kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$.

Expression du coefficient de perte de charge linéaire

$$j = \frac{\lambda}{D} \cdot \frac{V^2}{2g}$$

Où :

- j est le coefficient de perte de charge linéaire en $mCE \cdot m^{-1}$;
- λ est le coefficient de frottement (sans unité).

Coefficient de frottement λ

Régime Turbulent rugueux (Colebrook)	$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \log \left(\frac{\varepsilon}{3,7 \cdot D} + \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}} \right)$ où ε est la rugosité du conduit en m.
Régime Turbulent lisse (Blasius)	$\lambda = 0,3164 \cdot Re^{-1/4}$
Régime laminaire (Poiseuille)	$\lambda = \frac{64}{Re}$

Écoulement à surface libre en régime uniforme

Relation de Manning-Strickler

$$V = K_S \cdot R_h^{2/3} \cdot I^{1/2}$$

Où :

- K_S est le coefficient de Strickler en $m^{1/3} \cdot s^{-1}$.
- R_h est le rayon hydraulique. Il est égal au rapport entre la section transversale d'écoulement (S_m) et le périmètre mouillé (P_m).
- I est la pente hydraulique en $m \cdot m^{-1}$.

Pour les canalisations circulaires partiellement remplies (avec α en radians) :

$$\begin{aligned} h &= R \cdot (1 - \cos \alpha) \\ S_m &= R^2 \cdot (\alpha - \sin \alpha \cdot \cos \alpha) \\ P_m &= 2 \cdot R \cdot \alpha \end{aligned}$$

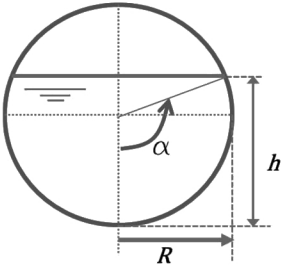
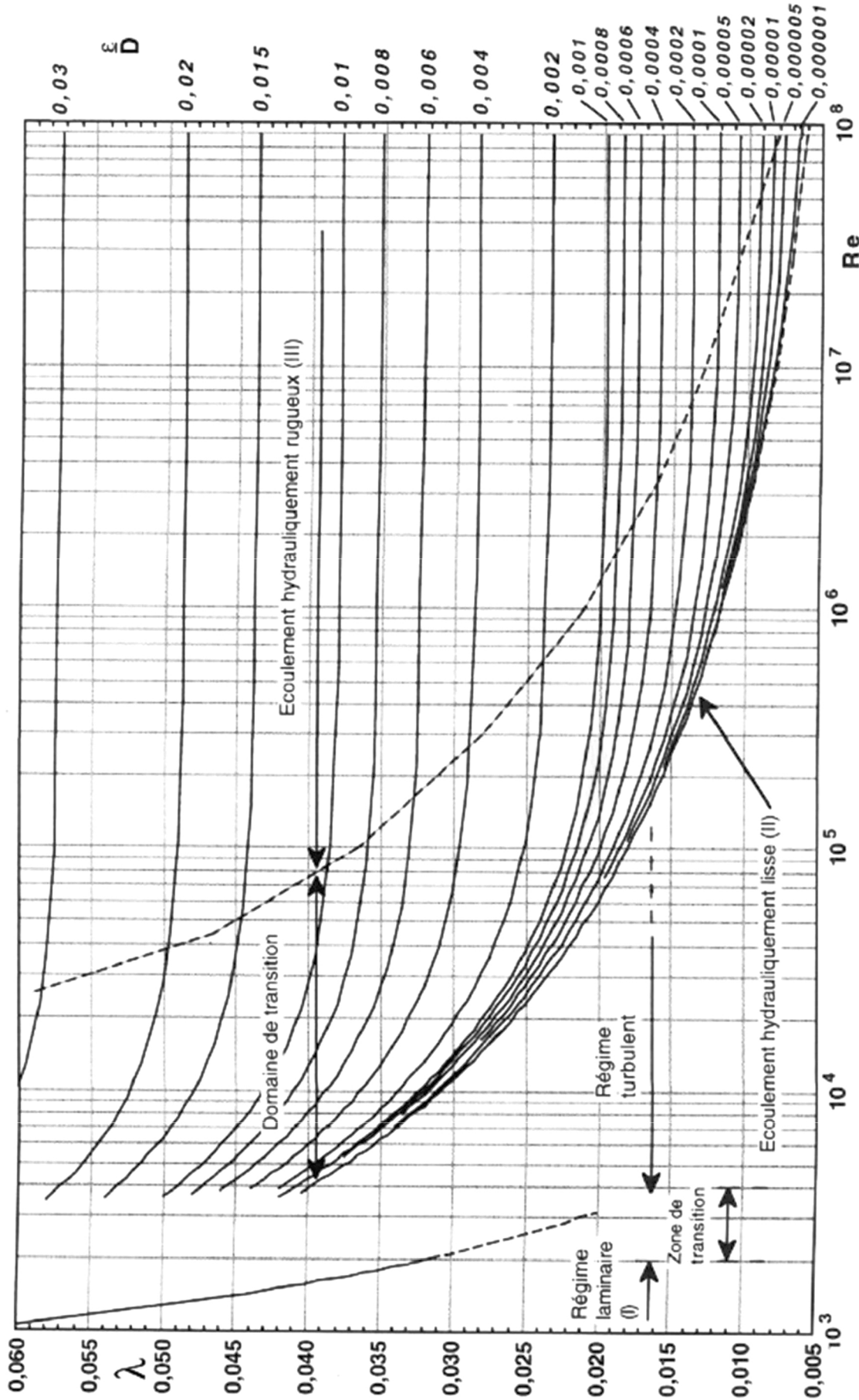
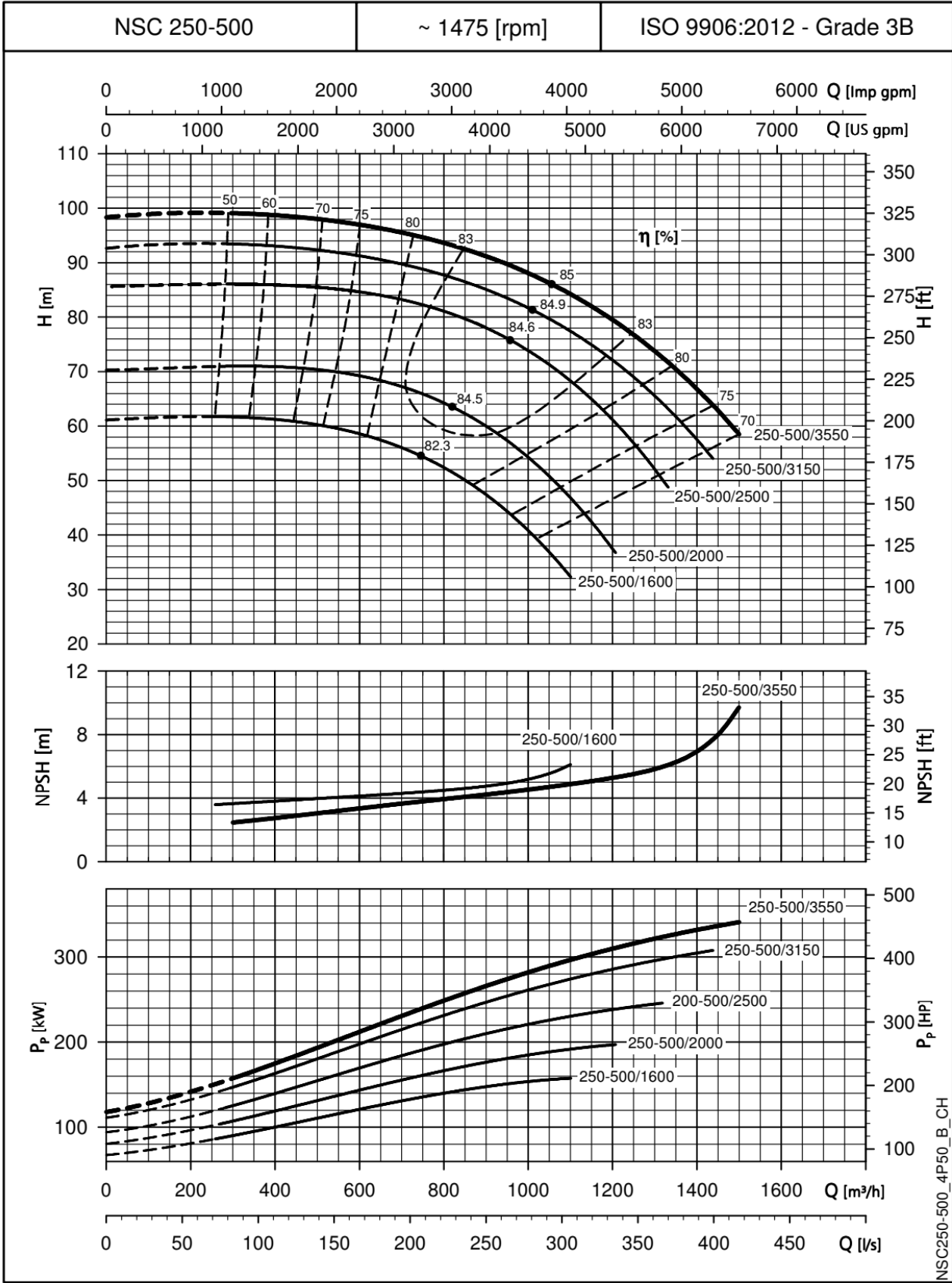


Diagramme de Moody



SÉRIES e-NSC
CARACTÉRISTIQUES DE FONCTIONNEMENT À 50 Hz, 4 PÔLES



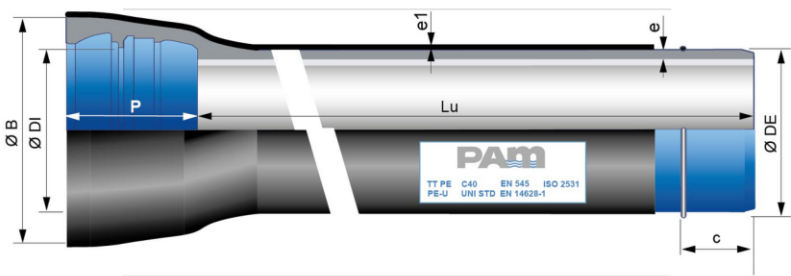
Les valeurs NPSH sont des valeurs de laboratoire ; pour une utilisation pratique, nous conseillons d'augmenter ces valeurs de 0,5 m.
Ces performances sont valables pour les liquides avec une densité $\rho = 1,0 \text{ Kg/dm}^3$ et une viscosité cinématique $\nu = 1 \text{ mm}^2/\text{s}$.



TT PE
SOL CORROSIF
DN 100 1000

21/04/2025
WNASP65UVE517

Tuyaux TT PE DN100 à 1000 à emboîtement UNIVERSAL STANDARD + Cordon de soudure Ve



DN	Lu (m)	Classe	e (mm)	e1 (mm)	ØDE (mm)	ØDI (mm)	P (mm)	ØB (mm)	Position du cordon c (mm)	Masse (kg/m)	Référence
100	5,97	C100	6,1	1,8	118	121,4	140	188	90	20,100	SFB10N60AG
125	5,97	C64	6,1	2	144	147,4	148	203	95	24,900	SFB12N60AG
150	5,97	C64	6,2	2	170	173,4	148	230	95	29,900	SFB15N60AG
200	5,97	C64	6,5	2	222	225,2	155	290	100	41,300	SFB20N60AG
250	5,97	C50	6,8	2	274	276,8	166	350	110	53,800	SFB25N60AG
300	5,97	C50	7,4	2,2	326	328,8	180	408	115	69,500	SFB30N60AG
350	5,97	C40	7,7	2,2	378	380,9	184	463	115	85,800	SFB35N60AG
400	5,97	C40	8,1	2,2	429	431,9	176	510	113	100,900	SFB40N60AG
450	5,97	C40	8,6	2,2	480	483	190	570	120	120,200	SFB45N60AG
500	5,97	C40	9,3	2,5	532	535	200	625	125	143,000	SFB50N60AG
600	5,97	C40	10,9	2,5	635	638,2	209	740	135	192,900	SFB60N60AG
700	6,90	C30	10,8	2,5	738	741,7	250	855	158	231,690	SFB70G70AG
800	6,90	C30	11,7	3	842	845,8	261	980	150	285,910	SFB80G70AG
900	6,90	C30	12,6	3	945	948,9	280	1087	155	347,950	SFB90G70AG
1000	6,90	C30	13,5	3	1048	1052	279,5	1191	165	402,590	SFC10G70AG

Légende :

- DN : Diamètre nominal
- Lu : Longueur utile, en m
- Classe : Classe de pression selon EN 545 et ISO 2531
- e : épaisseur nominale selon ISO 2531, en mm
- e1 : épaisseur polyéthylène selon EN 14628-1
- ØDE : diamètre extérieur nominal du fût selon EN 545 et ISO 2531, en mm
- ØDI : diamètre intérieur nominal de l'entrée de l'emboîture, en mm
- P : profondeur nominale de l'emboîture, en mm
- ØB : diamètre nominal de la collerette de l'emboîture, en mm
- c : position du cordon de soudure par rapport au bout-uni, en mm
- Masse : masse métrique totale (y compris revêtement ciment et emboîture), déterminée avec les épaisseurs nominales, en kg/m
- Référence : Référence commerciale Saint-Gobain PAM
- L'étiquette peut varier selon le DN

En première approche, la résistance thermique des parois fortement isolées est assimilée à la résistance thermique de l'isolant en place.

Composition des parois extérieures et menuiseries

Paroi RDC : Bardage Alu + Laine de bois + panneaux OSB + isolation en laine de roche entre montants + plaque de parement en plâtre

- Laine de bois
 - E = 60 mm
 - R = 1,7 m²·K·W⁻¹
- Laine de roche
 - E = 200 mm
 - R = 5,7 m²·K·W⁻¹

Toiture bac acier sous étanchéité : Isolation sous étanchéité 2 couches de laine de roche

- Laine de roche
 - E = 130 + 130 mm
 - R = 3,25 + 3,25 m²·K·W⁻¹

Plancher bas sur LNC* : Dalle béton + isolation en panneaux composites constitués d'une âme en PSE (type Fibrastyroc Ultra)

- Panneaux composites
 - E = 150 mm
 - R = 4,2 m²·K·W⁻¹

Mur rideau : Menuiseries aluminium à rupteur de pont thermique

44.2 / 18 Argon WE / 4 TBE

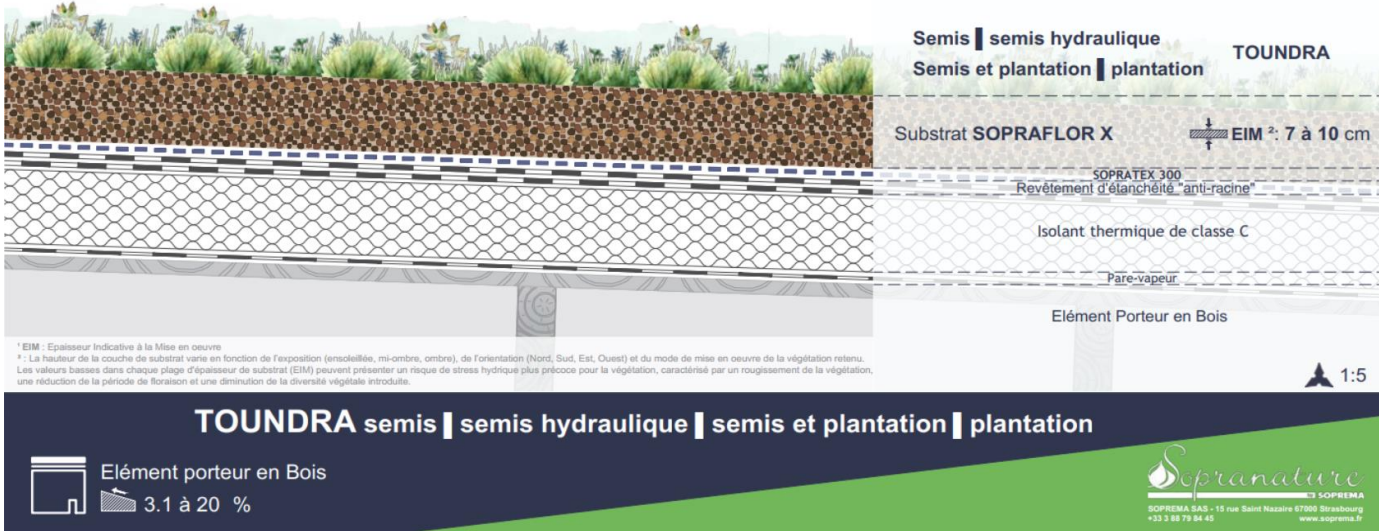
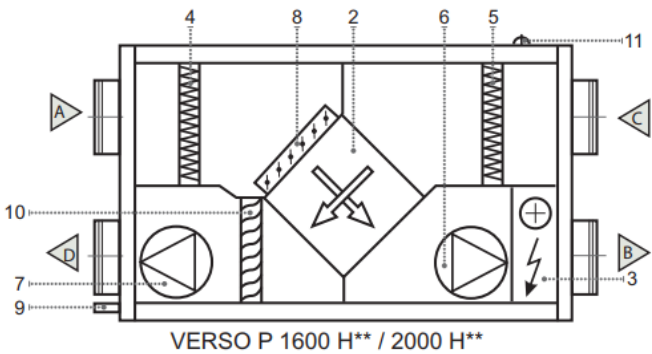
WE : Warm Edge (Vitrage à bords chauds) – TBE : Très Basse Émissivité

- U_w = 1,40 U_{jn} = 1,40 S_w = 0,54 T_{lw} = 0,68

*LNC : Local Non Chauffé

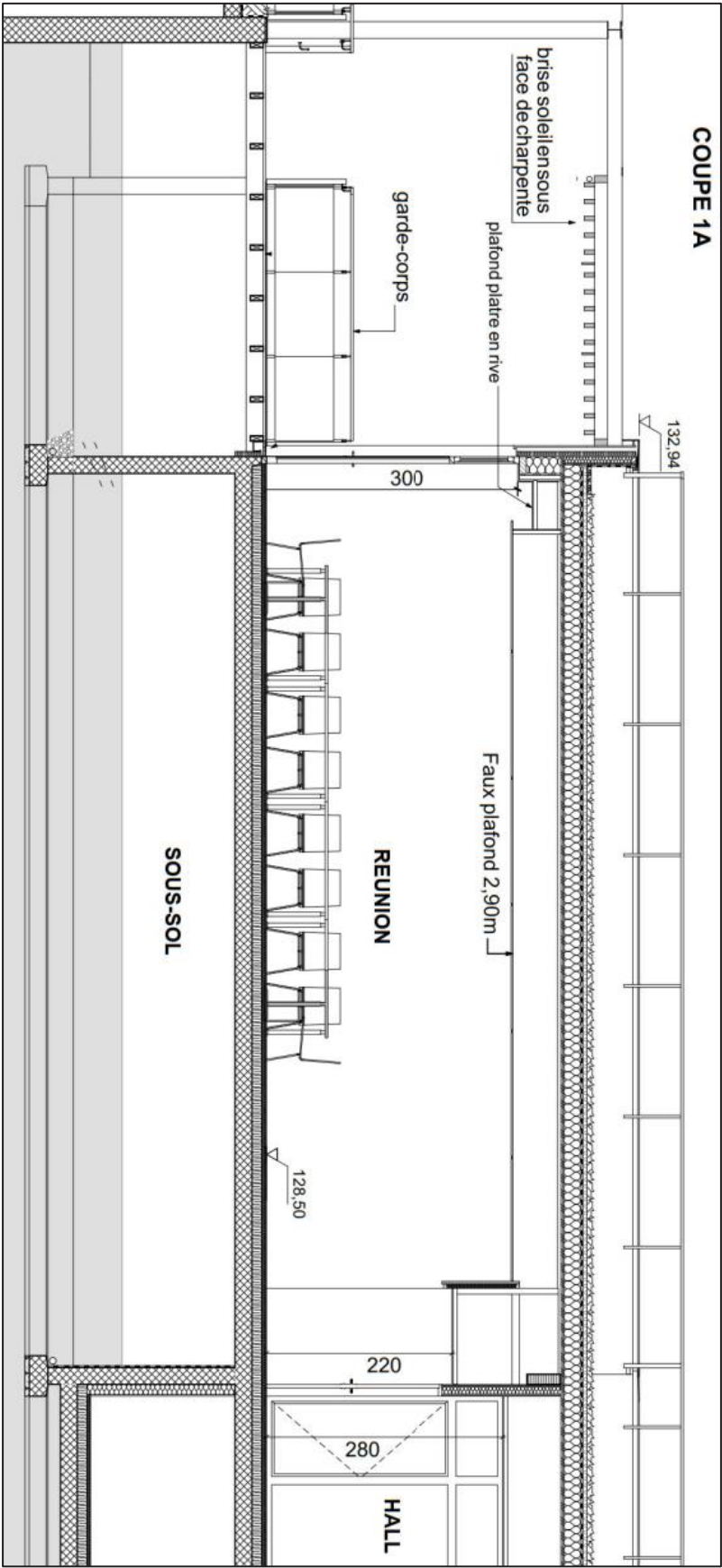
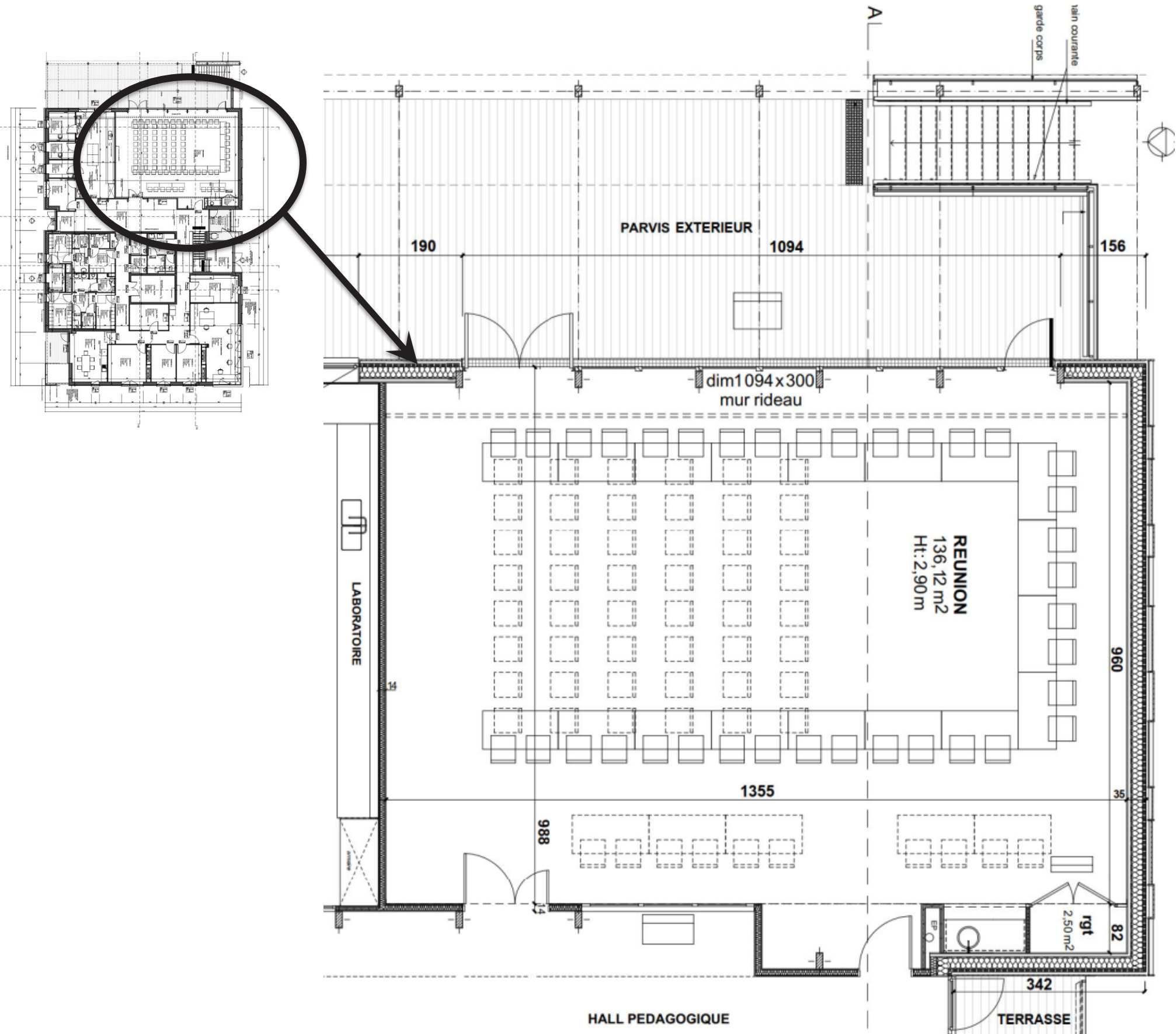
1. Echangeur de chaleur rotatif
2. Echangeur de chaleur à plaques
3. Batterie d'appoint (électrique ou eau chaude)
4. Filtre air neuf (soufflage)
5. Filtre air extrait (reprise)
6. Ventilateur de soufflage
7. Ventilateur d'extraction
8. By-pass motorisé
9. Evacuation de condensats (Prévoir un siphon)
10. Séparateur de gouttelettes
11. Passage alimentation générale
12. Raccordements hydrauliques batterie eau

- △ A Entrée d'air neuf
- △ B Soufflage
- △ C Extraction air intérieur
- △ D Rejet air vicié



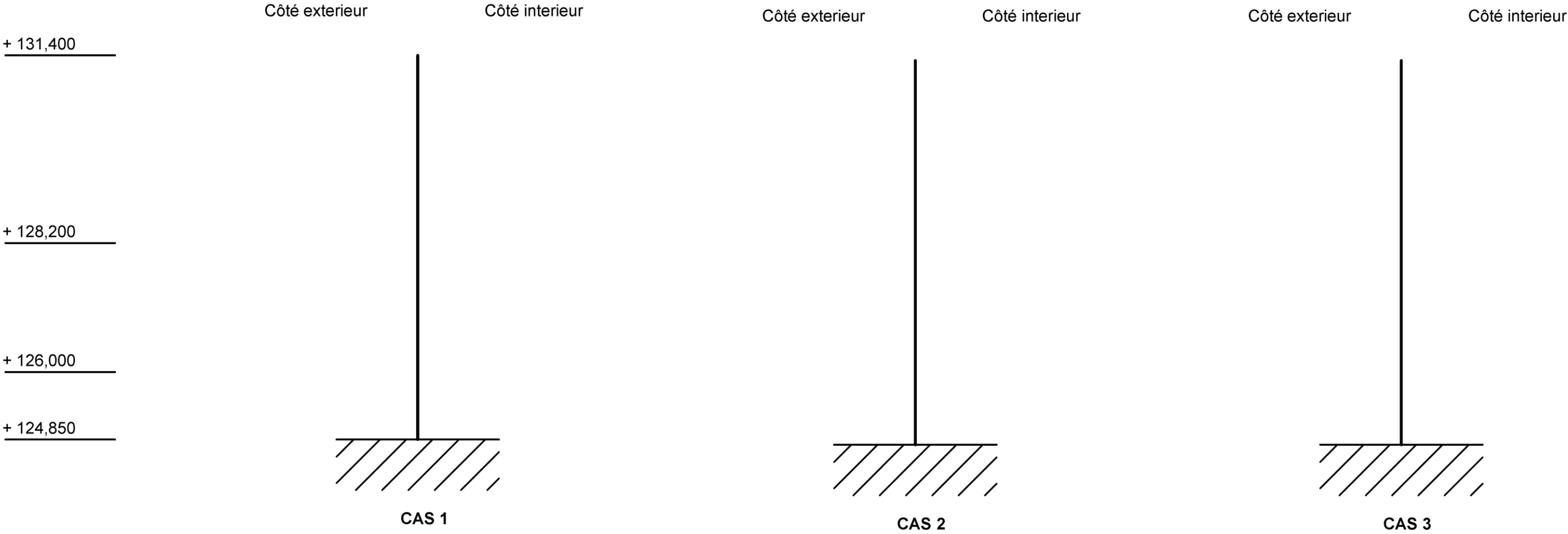
Toiture végétalisée : panneaux OSB + isolation thermique classe C + étanchéité + substrat végétal

- Substrat végétal
 - E = 70 mm
 - R = 0,1 m²·K·W⁻¹
- Isolant thermique classe C
 - E = 200 mm
 - R = 5,6 m²·K·W⁻¹



NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

CAS DE CHARGE SUR VOILE BASSIN

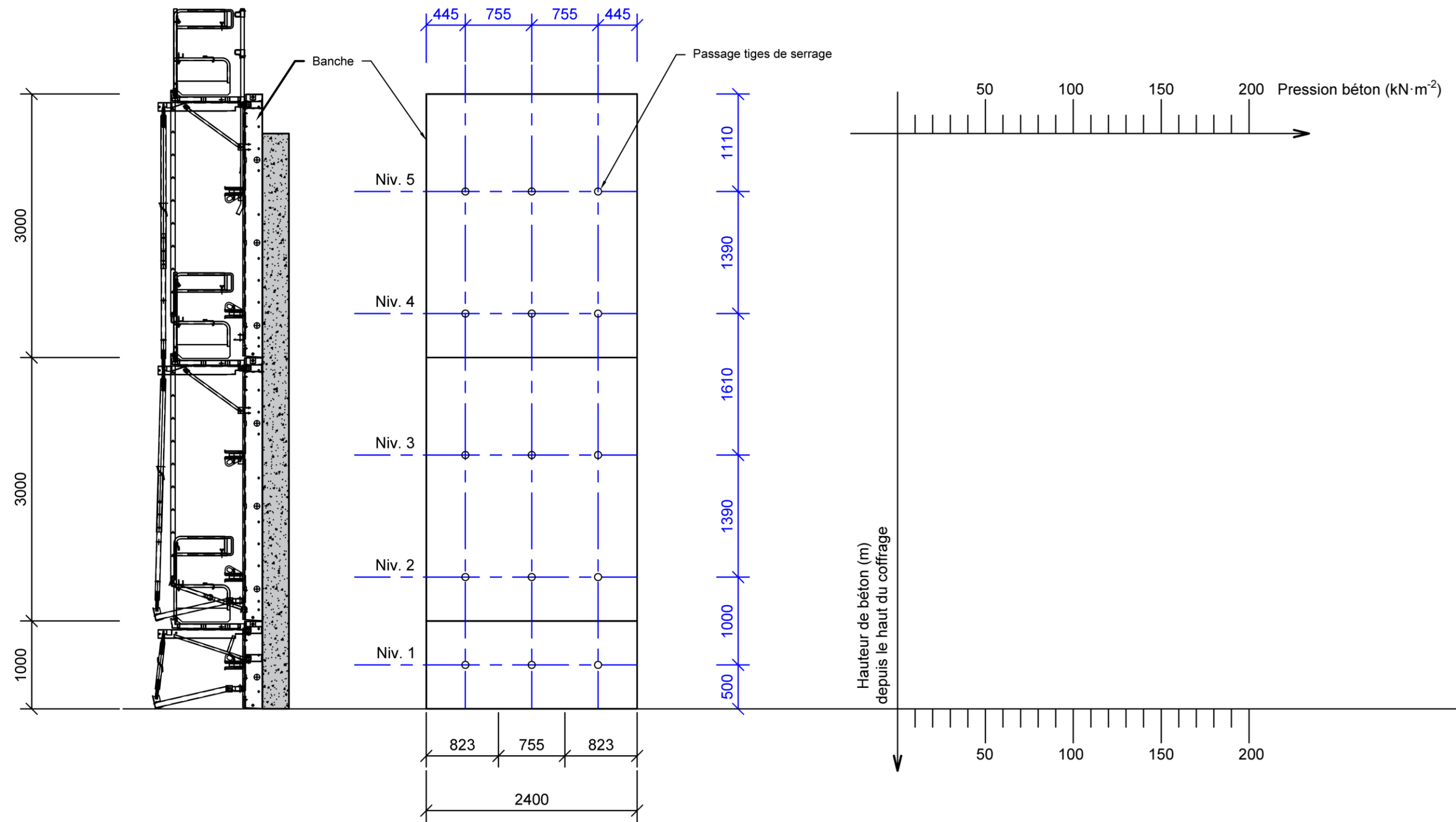


NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

Document Réponse DR2 - Étude du coffrage – poussée du béton

Elévation coffrage et
voile béton

Vue de face coffrage



Modèle CMEN v3

Nom de famille :

(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'usage)

Prénom(s) :

Numéro Candidat :

Né(e) le : / /

Cadre réservé aux candidats de concours de recrutement et examens professionnels

Concours : **Option / Section :** **N° d'inscription :**

Cocher une seule case parmi les six types de concours suivants :

☐ externe ☐ 3^e externe ☐ externe spécial ☐ interne ou 1^{er} interne ☐ 2nd interne ☐ 2nd interne spécial

Examen professionnel pour l'avancement au grade de :

Cadre réservé aux candidats d'examens et du concours général

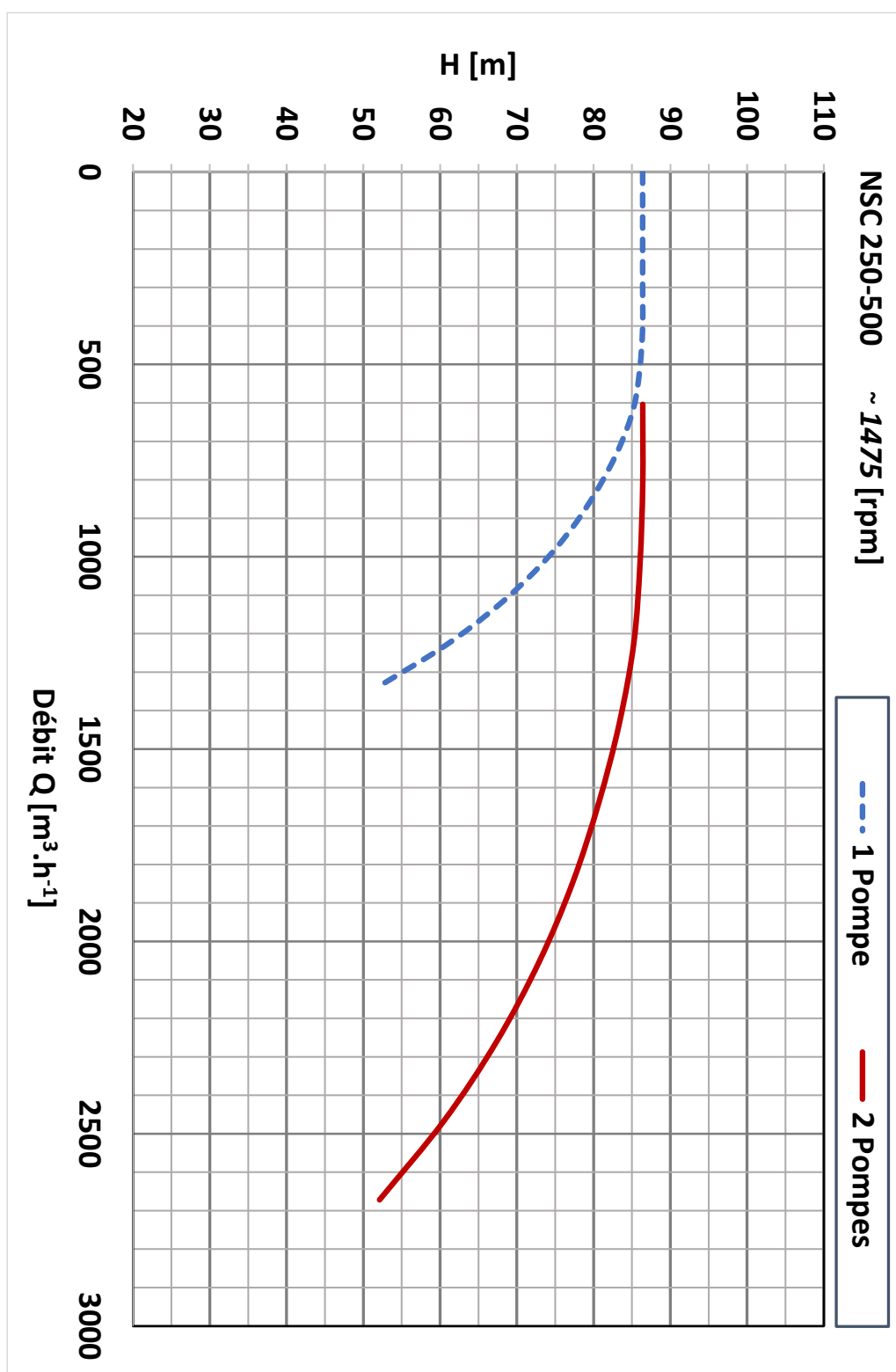
Examen : **Série / Spécialité :**

Epreuve - Matière : **Session :**

DR3 - DR4

NE RIEN ECRIRE DANS CE CADRE

Document Réponse DR3 – Courbe de pompe



Estimation simplifiée	Déperditions de l'enveloppe d'un local			
Température du local :				
Température extérieure :				
Parois déperditives				
Type	S (m ²)	U (W/m ² .K)	U.S (W/K)	Déperditions (W)
Murs extérieurs				
Menuiserie				
Plancher *				
Toiture				
Déperditions surfaciques				
Ponts thermiques				
Estimation forfaitaire à 20% des déperditions surfaciques				
TOTAL				
* prendre une minoration de 20% si Plancher sur LNC				