

SESSION 2014

**AGRÉGATION
CONCOURS INTERNE
ET CAER**

Section : SCIENCES INDUSTRIELLES DE L'INGÉNIEUR

Options : sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie mécanique,
sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie électrique,
sciences industrielles de l'ingénieur et ingénierie des
constructions.

**ÉPREUVE DE SCIENCES INDUSTRIELLES
DE L'INGÉNIEUR**

Durée : 4 heures

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

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

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.*

Tournez la page S.V.P.

- **Sujet** (5 mises en situation et questions à traiter par le candidat)

Présentation	page 2
Première partie (15 minutes)	page 2
Deuxième partie (45 minutes)	page 2
Troisième partie (30 minutes)	page 4
Quatrième partie (1 heure 15 minutes)	page 4
Cinquième partie (1 heure 15 minutes)	page 11

Documents

Documentation technique (DT1 à DT 16)	pages 15 à 34
Documents réponses (DR1 à DR 3)	pages 35 à 37

Le sujet comporte cinq parties indépendantes qui peuvent être traitées dans un ordre indifférent.

Les différentes parties seront traitées sur des copies séparées.

Toutes les réponses devront être détaillées sur la copie.

Préciser les unités des résultats.

Tous les documents réponses DR1 à DR 3, remplis ou non, sont à rendre avec les copies.

Une caisse d'allocation familiale en Bretagne



Présentation

La présente étude a pour objet l'opération de travaux relative à la construction d'un nouveau siège départemental d'une Caisse d'allocation Familiale (CAF) en Bretagne.

Pour la construction du siège départemental, le maître d'ouvrage est engagé dans un parcours de certification « bâtiments tertiaires - démarche HQE » avec label BBC EFFINERGIE. Cette démarche de développement durable marque singulièrement l'opération de construction et ceci à toutes les étapes et pour tous les acteurs mobilisés dans cette opération y compris en phase chantier.

1 Première partie : étude du contexte

Le promoteur désire bénéficier d'une certification HQE (DT 1 page 15). Cette certification nécessite un suivi durant les différentes phases de la vie du bâtiment et une action dans plusieurs domaines.

Q 1 Donner la signification de HQE. Quels sont les axes concernés par cette certification ?

Q 2 D'après le DT 1 et le schéma de principe hydraulique géothermie (DT 8), citer les sources d'énergies renouvelables mises en œuvre dans cette installation.

2 Deuxième partie : étude de la production photovoltaïque

L'avant-projet détaillé a mis en évidence le potentiel de la toiture. Il a été considéré qu'elle disposerait de panneaux amorphes intégrés à l'étanchéité. La production viendra compenser la consommation du bâtiment afin d'obtenir le label BBC et permettra une revente à ERDF.

Les panneaux de type PVL136 (DT 5) sont disposés de manière à optimiser la surface de toiture. Seules la rotonde, les verrières et les emprises de cheminées ne disposent pas de panneaux.

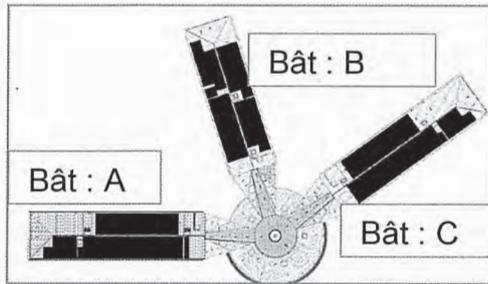
La production photovoltaïque attendue est de 95 MWh.an^{-1} . Le vieillissement des panneaux ne devra pas faire chuter la production de plus de 10% après 10 ans, 15% après 20 ans et 25% après 25 ans.

Pour répondre à l'appel d'offre, l'installateur doit garantir la production photovoltaïque conformément au cahier des charges. Cette partie de l'étude sera basée sur l'exploitation

Agrégation interne « Sciences industrielles de l'ingénieur »	Session 2014
Epreuve de « Sciences industrielles de l'ingénieur »	Code : (...) Page 2/37

des données du cahier des clauses techniques particulières (CCTP), de documents normatifs et techniques.

2.1 Dimensionnement des panneaux photovoltaïques



La production photovoltaïque dépend de la surface de capteur mais aussi de leur orientation et de la pente attribuée. La pente étant très faible ($6,31^\circ$) des panneaux sont disposés sur les « versants nord ». Les panneaux à couches minces ayant de bon rendement sur les rayonnements indirects, ils permettent de disposer des panneaux à proximité des cheminées et sur des orientations moins favorables. Les panneaux sont considérés comme

non ventilés.

La norme NF EN 15316-4 (DT 2) propose une méthode de calcul pour déterminer la production d'électricité des systèmes photovoltaïques.

- Q 3** D'après la norme, identifier les paramètres influents pour calculer l'énergie fournie par les panneaux solaires. Vous respecterez la désignation des grandeurs donnée par la norme.
- Q 4** La norme ne donne pas de valeur du facteur de conversion f_{tlt} pour les orientations NE, N et NO. Compte tenu de l'inclinaison de la toiture, donner la valeur de ce coefficient en justifiant votre réponse.
- Q 5** Calculer, en s'appuyant sur la norme (DT 2) et les données du DT 3, la production annuelle des panneaux photovoltaïques du bâtiment A pour les 2 orientations de sa toiture nord-est et sud-ouest. Pour cela, préciser les différentes étapes de la démarche aboutissant aux résultats et résumer les productions d'énergies annuelles par bâtiment et par orientation dans un tableau tel que celui du DT 3.
- Q 6** Déterminer la production globale du site de la CAF. Le niveau désiré de production peut-il être atteint ?
- Q 7** En tenant compte du vieillissement des panneaux (DT 5), quelles sont les productions attendues à 10, 20 et 25 ans ? Les objectifs du cahier des charges sont-ils atteignables ?

2.2 Schéma de principe

L'aile A du bâtiment côté nord-est est pourvue de 6 groupes de 20 panneaux et de 3 onduleurs. L'installation photovoltaïque est raccordée au réseau de distribution publique pour revente de l'énergie produite.

- Q 8** Quel est l'intérêt économique de cette solution, par rapport à une consommation locale ?
- Q 9** Sachant que les onduleurs retenus sont des SUNNY BOY 2500HF (DT 4), montrer que le nombre d'onduleurs est adapté au nombre de panneaux.
- Q 10** Donner le schéma de principe de cette partie de l'installation depuis les panneaux jusqu'au raccordement au réseau de distribution. Faire figurer les 3 premiers panneaux et le dernier de chaque ligne, les onduleurs uniquement pour l'aile A nord-est, tous les compteurs de l'installation ainsi que le raccordement de l'aile A sud-ouest des ailes B et C.

3 Troisième partie : analyse du contexte énergétique - principe hydraulique géothermie

Cette partie porte sur l'analyse des modes de fonctionnement et de régulation de l'installation. Ceux-ci sont définis dans l'extrait du CCTP (DT 6) et sur le schéma de principe hydraulique géothermie (DT 8).

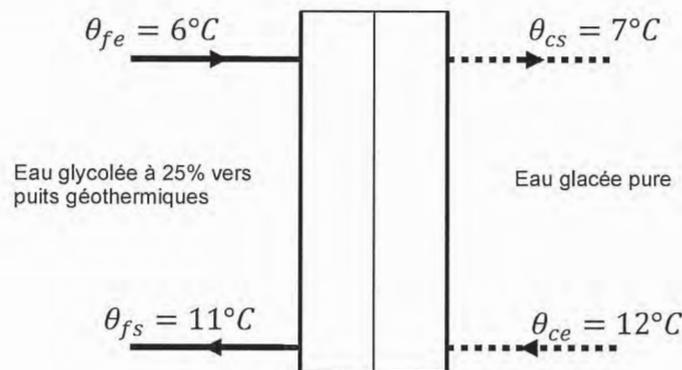
Q 11 En fonction des différents régimes de températures définis dans le CCTP, surligner le mode de fonctionnement hydraulique de l'installation en été sur le schéma hydraulique géothermie « ETE » (DR 3). Indiquer dans la légende les couleurs utilisées.

Q 12 Indiquer sur le schéma DR 3 la position des différentes vannes change-over numérotées de 1 à 12 pour la configuration « ETE ». Utiliser la notation « O » pour vanne ouverte et « F » pour vanne fermée. Indiquer également sur le schéma les régimes de températures résultant sur les différents réseaux.

4 Quatrième partie : énergétique

4.1 Etude de l'échangeur froid géothermique

L'étude qui suit porte sur le dimensionnement de l'échangeur froid raccordé sur la boucle géothermique. Compte tenu du fonctionnement hiver et été des deux pompes à chaleur, les conditions retenues dans le CCTP pour le dimensionnement de cet échangeur sont les suivantes :



Echangeur « froid »
 $P = 327,3kW$

Le dimensionnement de cet échangeur, considéré à contre-courant pur, s'appuiera sur l'étude des caractéristiques physiques des fluides secondaires et primaires.

Compléments sur le dimensionnement des échangeurs :

- On rappelle que la puissance d'un échangeur pur peut s'exprimer à partir de la formule de Hausbrand :

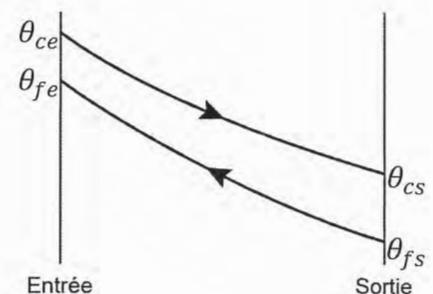
$$P = US \frac{(\theta_{cs} - \theta_{fs}) - (\theta_{ce} - \theta_{fe})}{\ln \left(\frac{\theta_{cs} - \theta_{fs}}{\theta_{ce} - \theta_{fe}} \right)}$$

Avec :

P : puissance en W

U : coefficient d'échange surfacique de l'échangeur en $W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$

S : surface d'échange en m^2



Remarque : En première approche, le coefficient de transfert U de l'échangeur sera pris égal à $U = 600 \text{ W.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$

- On peut aussi exprimer la puissance à partir de l'efficacité avec la méthode des NUT (Nombre d'Unités de Transfert) :

$$P = \varepsilon C_{\min}(\theta_{ce} - \theta_{fe})$$

dans laquelle :

ε désigne l'efficacité de l'échangeur

C_{\min} désigne la capacité calorifique minimale exprimée en W.K^{-1} :

$$C_{\min} = \inf(Q_{\text{prim}}C_{\text{prim}}; Q_{\text{sec}}C_{\text{sec}})$$

avec :

Q_{prim} : débit massique du fluide primaire en kg.s^{-1}

C_{prim} : chaleur massique du fluide primaire en $\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$

Q_{sec} : débit massique du fluide secondaire en kg.s^{-1}

C_{sec} : chaleur massique du fluide secondaire en $\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$

Remarque : la notion de fluide secondaire et primaire est fonction du niveau de température des fluides : le primaire étant le fluide le plus chaud, le secondaire étant le fluide le plus froid.

L'efficacité ε peut se calculer pour un échangeur pur à contre-courant par :

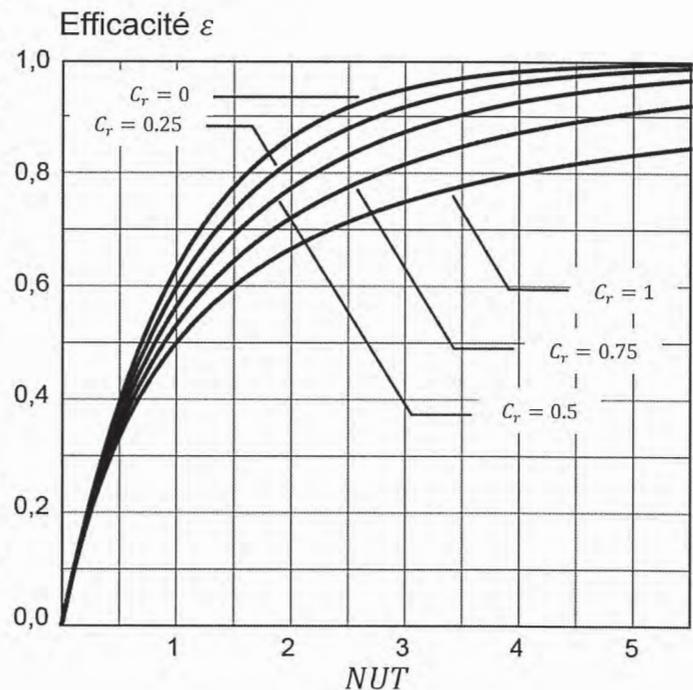
$$\varepsilon = \frac{e^{-NUT(1-C_r)} - 1}{C_r e^{-NUT(1-C_r)} - 1}$$

Dans cette expression on a $NUT = \frac{US}{C_{\min}}$ et $C_r = \frac{C_{\min}}{C_{\max}}$ qui sont des nombres sans dimension.

Le terme C_{\max} désigne la capacité calorifique maximale en W.K^{-1} définie de façon analogue à C_{\min} par :

$$C_{\max} = \sup(Q_{\text{prim}}C_{\text{prim}}; Q_{\text{sec}}C_{\text{sec}})$$

L'abaque ci-contre indique l'efficacité de l'échangeur pour différentes valeurs de C_r et pour différents NUT.



Q 13 Le fluide antigel utilisé étant du monopropylène glycol mélangé à 25 % avec de l'eau pure, déterminer pour les caractéristiques suivantes du fluide en provenance des sondes géothermiques (voir DT 7) :

- le point de congélation en $^{\circ}\text{C}$
- la masse volumique en kg.m^{-3}
- la chaleur massique en $\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$

En déduire, à partir de la puissance de l'échangeur et des différentiels de températures, les débits massiques au primaire et au secondaire de l'échangeur.

Q 14 Déterminer les valeurs de C_{min} , C_{max} et l'efficacité ε de cet échangeur.

Q 15 Calculer la surface de l'échangeur (en m^2) en précisant la méthode utilisée.

Q 16 Déterminer la surface de l'échangeur froid si, au lieu d'un régime d'eau glacée $7^\circ C - 12^\circ C$, on utilise un régime $8^\circ C - 13^\circ C$. Commenter les résultats obtenus en indiquant les conséquences des choix de régime de température choisis par le bureau d'étude dans le CCTP.

4.2 Etude de la ventilation naturelle

Les bâtiments de la CAF de Bretagne font l'objet de la mise en place d'un système original de ventilation utilisant le principe des « cheminées solaires ». L'objectif poursuivi est de diminuer les coûts liés à la ventilation en utilisant des « moteurs » naturels pour faire circuler l'air dans le bâtiment. Un schéma décrivant le principe de fonctionnement est proposé sur le DT 9. Les études qui suivent ont pour objectif de mettre en évidence les paramètres et contraintes liées à ce type de solution. Pour simplifier les études, le calcul des pertes de charges dans les gaines de ventilation sera négligé dans toute l'étude.



Cheminées solaires disposées sur les différentes ailes du bâtiment.

Dans ces études nous allons déterminer les « moteurs » naturels permettant de réaliser cette ventilation :

- l'effet dû au tirage thermique
- l'effet dû à la cheminée solaire
- l'effet dû au vent

4.2.1 Etude de l'effet de tirage thermique

Hypothèses :

On négligera les variations de pression atmosphérique en fonction de l'altitude et l'air sera considéré comme un gaz parfait.

La masse volumique de l'air ρ_0 à $P_{atmosphérique}$ et $0^\circ C$ sera prise égale à $1,293 \text{ kg.m}^{-3}$.

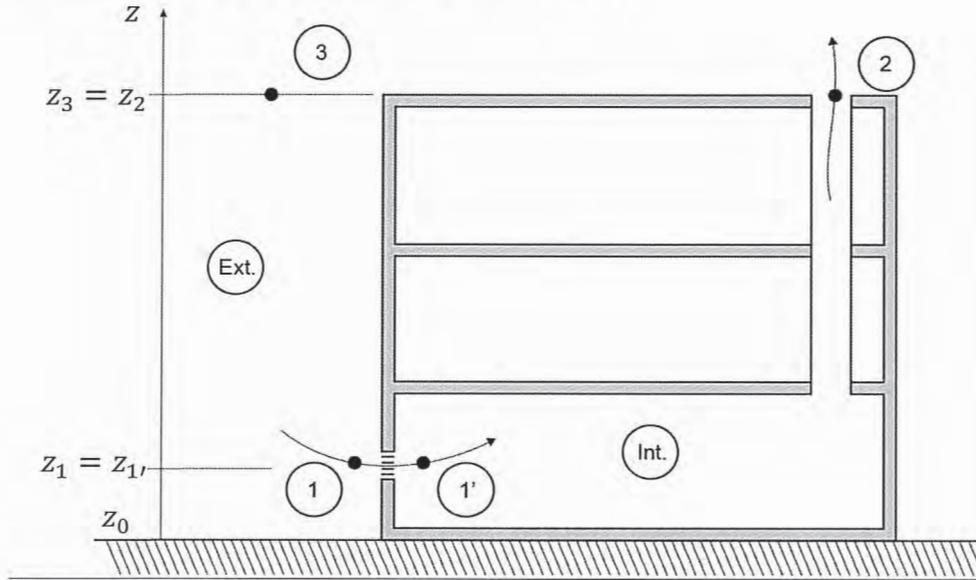
Les paramètres à utiliser sont les suivants :

- Air intérieur :
 - θ_i : température en $^\circ C$
 - ρ_i : masse volumique en kg.m^{-3}
- Air extérieur :
 - θ_e : température en $^\circ C$
 - ρ_e : masse volumique en kg.m^{-3}

Agrégation interne « Sciences industrielles de l'ingénieur »		Session 2014
Epreuve de « Sciences industrielles de l'ingénieur »	Code : (...)	Page 6/37

Tournez la page S.V.P.

La modélisation utilisée est proposée ci-dessous



Toutes les études ci-après seront effectuées en unités S.I.

- Q 17** Ecrire l'expression de la pression au point 1 en fonction de la pression au point 3 à l'extérieur du bâtiment.
- Q 18** Ecrire l'expression de la pression au point 1' en fonction de la pression au point 2 à l'intérieur du bâtiment.
- Q 19** Les masses volumiques ρ_i et ρ_e dépendent respectivement des températures θ_i et θ_e . En supposant que l'air peut s'assimiler à un gaz parfait, écrire l'expression donnant ρ_i en fonction de ρ_e , θ_i , θ_e .
- Q 20** Démontrer que l'expression de $\Delta P = P_1 - P_{1'}$ (différence de pression entre la bouche d'entrée et la bouche de sortie, en Pa) en fonction des températures et des hauteurs respectives de la bouche d'entrée d'air z_1 et de la sortie de cheminée z_2 est la suivante (g désigne l'accélération de la pesanteur en $m \cdot s^{-2}$) :

$$\Delta P = \rho_0 \left(\frac{273,15}{\theta_e + 273,15} \right) \left(\frac{\theta_i - \theta_e}{\theta_i + 273,15} \right) g(z_2 - z_1)$$

- Q 21** A partir de la relation précédente, montrer que pour des températures usuelles intérieures et extérieures en hiver ($\theta_i = 20^\circ C$ et $\theta_e = -5^\circ C$), la relation peut se simplifier par :

$$\Delta P = 0,044H(\theta_i - \theta_e) \text{ où } H = z_2 - z_1$$

- Q 22** En utilisant cette relation simplifiée, calculer ΔP , pour des conditions hivernales avec $\theta_i = 20^\circ C$ et $\theta_e = 0^\circ C$, et pour les cas où H est de 2,5 m ou de 13 m.
- Q 23** Conduire les mêmes calculs avec $\theta_i = 20^\circ C$ et $\theta_e = 15^\circ C$ ce qui correspond à un calcul en mi-saison. Que peut-on conclure des résultats obtenus ?

4.2.2 Etude de l'effet de la cheminée solaire

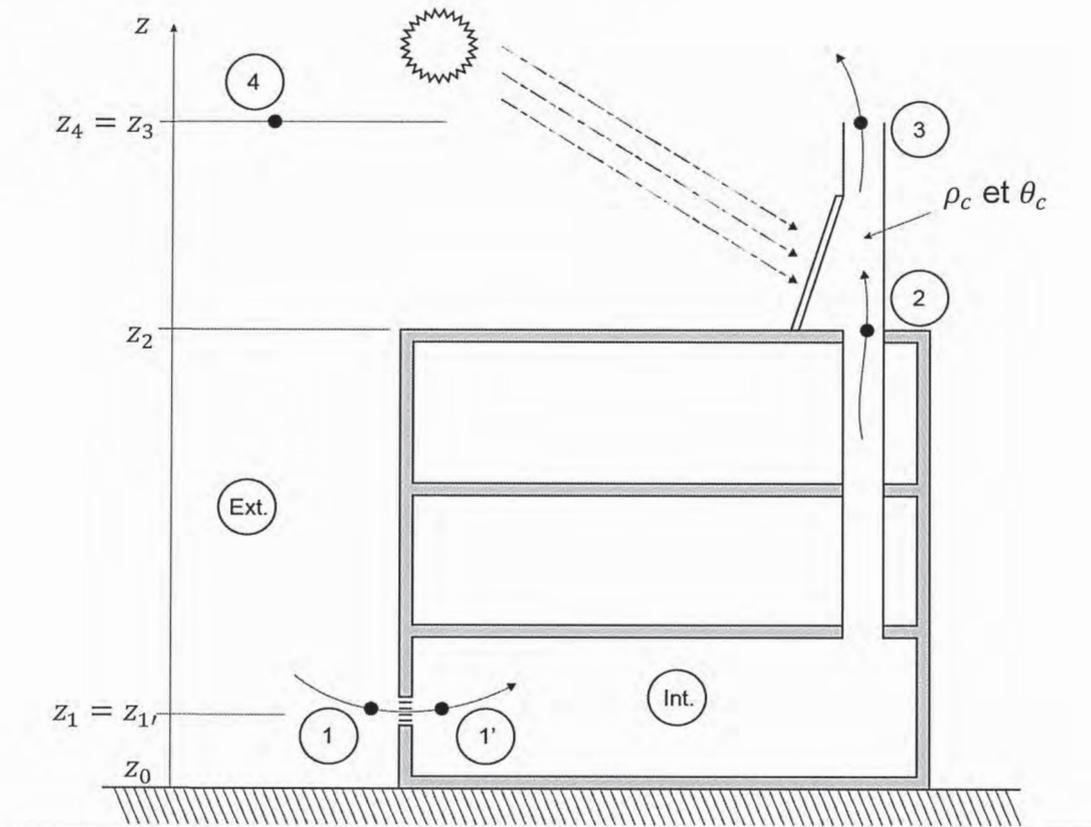
L'étude suivante porte sur la contribution de la cheminée solaire dans la répartition des pressions entre la bouche d'entrée d'air et la sortie de la cheminée. Cette cheminée est

recouverte sur une de ses faces (la mieux orientée vis-à-vis du rayonnement solaire) par une paroi vitrée (double vitrage).

Lorsque le rayonnement solaire est suffisant cela a pour effet de réchauffer l'air se trouvant dans la partie supérieure de la cheminée.

On supposera, pour simplifier l'étude, que cette température est uniforme et constante le long de la cheminée solaire.

La modélisation utilisée est proposée ci-dessous :



Q 24 Ecrire l'expression de la différence de pression au niveau de la bouche d'entrée d'air $\Delta P = P_1 - P_{1'}$, en fonction des différents paramètres intervenant dans l'étude : masses volumiques (ρ_c, ρ_i, ρ_e) et hauteurs (z_1, z_2, z_3).

Q 25 En faisant intervenir la loi des gaz parfaits, donner l'écriture de cette relation si on exprime les variations de masse volumique à partir des températures ($\theta_i, \theta_e, \theta_c$) et de la masse volumique de l'air ρ_0 à la pression atmosphérique.

Q 26 Réaliser une application numérique pour la configuration hiver suivante :

- Différence de hauteur : $z_2 - z_1 = 13$ m
- Hauteur de cheminée : $z_3 - z_2 = 5$ m
- Température intérieure : $\theta_i = 20^\circ\text{C}$
- Température extérieure : $\theta_e = 0^\circ\text{C}$
- Température dans la cheminée : $\theta_c = 24^\circ\text{C}$

On fera apparaître dans le résultat la part de pression motrice due au tirage de la cheminée solaire.

4.2.3 Etude de l'effet dû au vent

Dans cette dernière partie de l'étude nous allons nous intéresser à l'effet du vent sur la ventilation naturelle.

Sur un site donné une des expressions utilisées pour modéliser la variation de la vitesse du vent en fonction de l'altitude et de la rugosité du terrain est la suivante :

$$V(z) = V_0 a z^b \text{ en } m.s^{-1}$$

Dans cette expression :

- z est la hauteur par rapport au sol, en m , où est calculée la vitesse du vent.
- V_0 est la vitesse du vent météo en $m.s^{-1}$ du site.
- Les paramètres a et b sont donnés en fonction de la rugosité du terrain. Ici le bureau d'étude a adopté pour une zone périurbaine $a = 0,35$ et $b = 0,25$.

La pression (en Pa) exercée par le vent en un point M_i de la façade est alors donnée en fonction de la pression dynamique exercée par le vent et d'un coefficient de pression dépendant de la forme, de la dimension du bâtiment et de l'orientation du vent :

$$P_i = \frac{1}{2} C_{pi} \rho_e V_{ref}^2$$

où :

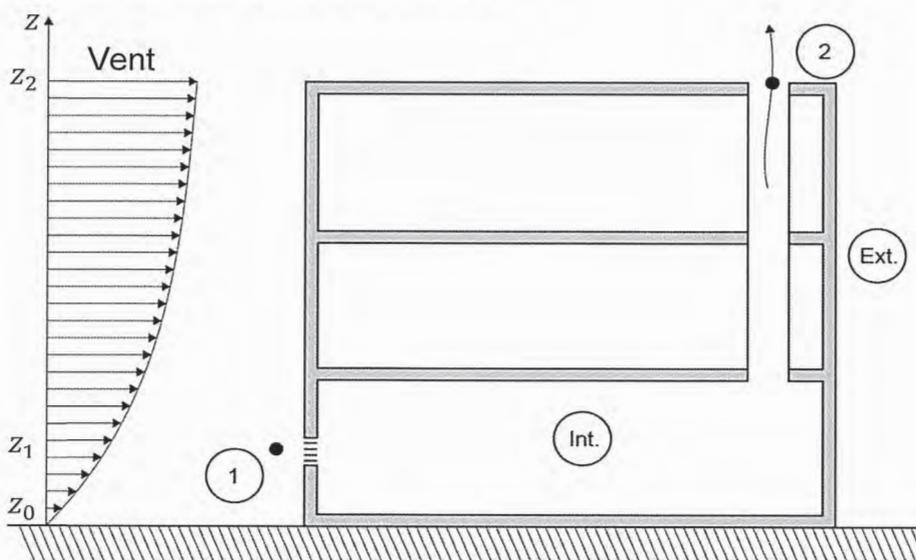
- C_{pi} est le coefficient de pression au point M_i (il s'obtient généralement dans des tables récapitulant des résultats de simulations).
- ρ_e est la masse volumique de l'air extérieur en $kg.m^{-3}$.
- V_{ref} est la vitesse du vent de référence en $m.s^{-1}$ calculé en fonction de la vitesse du vent météo V_0 et en adoptant généralement, pour l'altitude à laquelle est calculée ce vent, la hauteur du bâtiment.

L'écriture de la différence de pression entre deux points M_i et M_j d'un bâtiment s'écrit alors :

$$\Delta P = \frac{1}{2} (C_{pi} - C_{pj}) \rho_e V_{ref}^2$$

Nous allons étudier l'effet du vent sur une bouche située sur la façade du bâtiment et le tirage dû au vent entre l'entrée et la sortie du conduit de ventilation.

La modélisation utilisée est proposée ci-dessous



Pour cette étude on admettra que la pression statique obtenue par tirage thermique au niveau de la bouche 1 est de $11,4 Pa$ calculée pour $\theta_e = 0^\circ C$. Le vent moyen le plus

fréquent sur le site est de vitesse $V_0 = 4,5 \text{ m.s}^{-1}$. La hauteur du bâtiment est de 15 m et la différence de hauteur entre la bouche et la sortie est de 13 m .

Q 27 Calculer la vitesse du vent de référence V_{ref} de ce bâtiment en fonction de la vitesse du vent météo adopté pour le site.

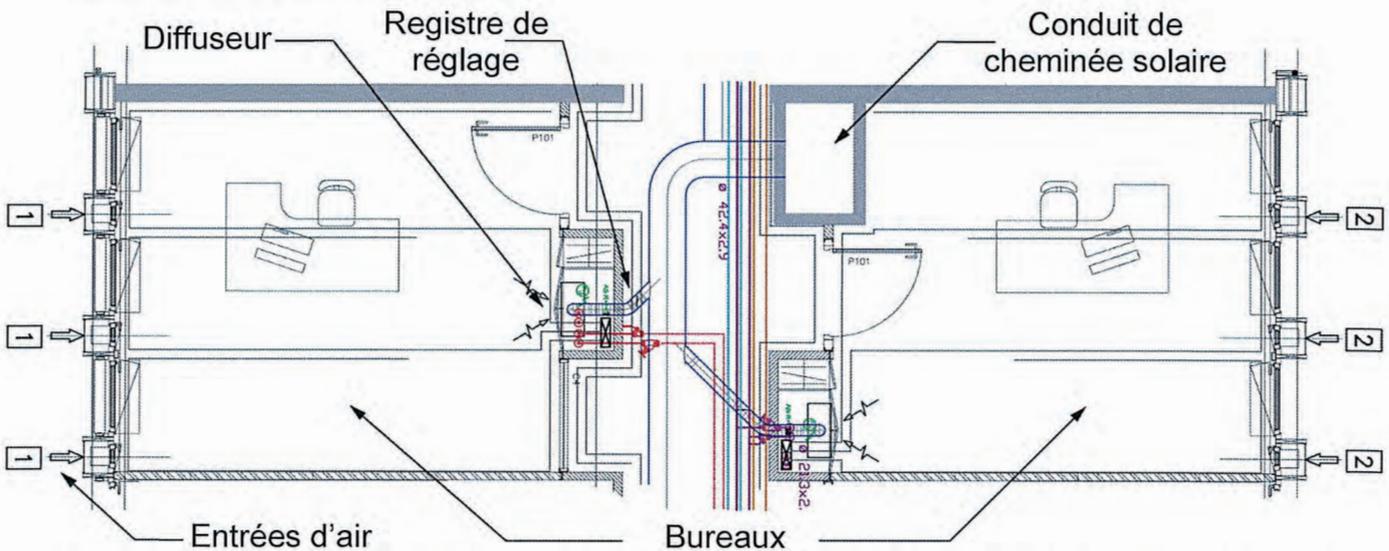
Q 28 Calculer la différence de pression ΔP due aux effets du vent (en hiver avec $\theta_e = 0^\circ\text{C}$) et indiquer la dépression totale due aux effets du vent plus le tirage thermique au niveau de la bouche 1. On prendra pour ce calcul les coefficients de pression suivants :

- au niveau de la bouche d'entrée d'air $C_p = 0,5$ (façade en pression)
- au niveau de la sortie toiture $C_p = -0,3$ (toiture en dépression)

4.2.4 Analyse des résultats et conclusions

Le bureau d'étude a réalisé une étude sur la ventilation naturelle pour le cas le plus défavorable soit une simulation en hiver (pas d'effet de cheminée solaire), une température extérieure de 15°C (défavorable pour le tirage thermique) et pour une vitesse de vent météo de $4,5 \text{ m.s}^{-1}$ qui correspond au vent moyen le plus fréquent du site. Les résultats de la simulation du bureau d'étude indiquent une pression moyenne au niveau des bouches d'entrées d'air de $1,5 \text{ Pa}$.

Description de l'installation :



Les bouches d'entrée d'air autoréglables alimentent les différents bureaux. L'air est ensuite repris par un diffuseur et conduit par l'intermédiaire d'une gaine souple équipée d'un registre de réglage. Puis les gaines souples sont raccordées à des gaines rigides jusqu'aux conduits des cheminées solaires.

Des châssis de fenêtre articulés permettent une « surventilation » nocturne des locaux par une action manuelle des occupants des locaux au moment de quitter leur lieu de travail et par fermeture manuelle à leur retour le matin (ces actions à effectuer, sont signalées au personnel par des messages sur les écrans des postes informatiques du réseau interne).

Q 29 Compte tenu de la pression moyenne disponible au niveau des bouches d'entrée d'air que peut-on dire de l'action autoréglable de ces bouches ?

Q 30 La surventilation nocturne permettra-t-elle de s'affranchir de l'utilisation d'une climatisation en particulier sur la salle de conférence ?

4.3 Principe de commande et de régulation de la centrale de traitement de l'air (CTA) de la salle de conférence

Dans le CCTP, le mode de régulation retenue est de type cascade. Il permet le maintien à température constante de l'air repris par la CTA.

Q 31 Représenter sur le DR 1 l'action progressive sur les vannes trois voies des batteries chaude et froide, en traçant sur les deux diagrammes :

- la 1^e courbe de régulation de la consigne de soufflage en fonction de la température de reprise,
- la 2^e courbe de régulation de la position des vannes des batteries chaude et froide (en % d'ouverture) en fonction de la température de soufflage.

Q 32 A l'aide du CCTP, compléter le chronogramme de fonctionnement des ventilateurs de la CTA (DR 2) après sa mise en service et en l'absence de défaut fumée et antigel. Tenir compte de l'enclenchement du contrôleur de débit, compléter son chronogramme.

5 Cinquième partie : étude de la structure

L'objectif de cette partie est d'établir le modèle mécanique utilisé pour concevoir le plancher bas du deuxième étage (R+2) de l'aile B, supportant des bureaux de type « Open Space ». Ce plancher est réalisé en dalles alvéolaires précontraintes **DSR 2800 104 B** (DT 15).

Les objectifs ici simplifiés sont basés sur les principes de dimensionnement des structures aux règlements Eurocodes. On étudie les déformations et contraintes dans la structure.

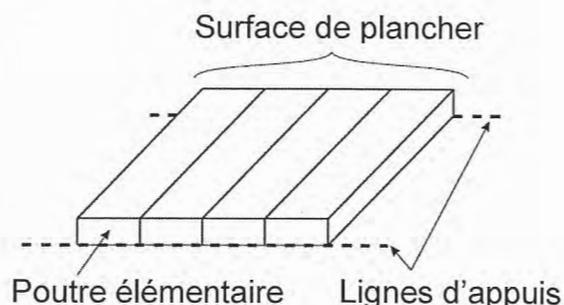
Les données disponibles sont :

- DT 10 : Données concernant la structure et les actions mécaniques
- DT 11 et DT 12 : Abaques mécaniques
- DT 13 : Vue en plan de l'étage
- DT 14 : Détail de la coupe longitudinale DD
- DT 15 : Caractéristiques des dalles alvéolaires DSR 20 à 36
- DT 16 : Données sur les torons de précontrainte

5.1 Etude du modèle poutre pleine

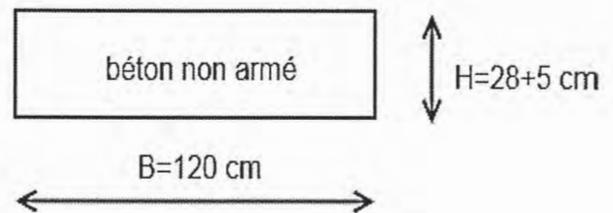
On envisage la réalisation du plancher étudié par des éléments préfabriqués.

La figure ci-contre présente le principe de décomposition d'une surface de planchers en poutres élémentaires juxtaposées.



- Q 33** Justifier mécaniquement qu'on peut modéliser la dalle du plancher bas du R+2 par un ensemble de poutres reposant sur plusieurs appuis. Indiquer la longueur des portées entre les appuis, et justifier le type d'appui.

On envisage pour débuter de réaliser le plancher par la technologie la plus simple. On étudie l'utilisation de poutres juxtaposées homogènes en béton non armé, de section rectangulaire, de largeur $B = 1,2 \text{ m}$ et de hauteur $H = 28 + 5 \text{ cm}$ identique à celle du plancher fini, comme indiqué ci-contre.



- Q 34** Déterminer la charge linéique « G » (chargement par unité de longueur) provenant des actions permanentes appliquées à cette poutre. Déterminer la charge linéique « Q » appliquée à une poutre provenant des actions variables. En déduire la valeur de la combinaison d'actions qui permet de vérifier le scénario ELS ($S_{ELS} = (G) + (Q)$) pour la poutre pleine chargée. Conclure sur la part du poids propre de la dalle dans la valeur de (S_{ELS}).

On considère à partir de maintenant que le modèle utilisé est assimilable à celui d'une poutre isostatique de $12,4 \text{ m}$ de portée et supportant la charge verticale répartie résultant d'une combinaison d'actions mécaniques ($S_{ELS} = (G) + (Q) = 1450 \text{ daN} \cdot \text{m}^{-1}$).

- Q 35** Déterminer les caractéristiques mécaniques de cette poutre, c'est à dire son moment quadratique I_{gz} et son module d'élasticité longitudinale $E_{\text{béton}}$. Déterminer la flèche maximale de cette poutre sous la combinaison (S_{ELS}). Le cahier des charges est-il respecté ?

On souhaite maintenant vérifier la seconde partie du cahier des charges concernant le non dépassement de la contrainte limite dans le béton à l'état limite de service ELS.

- Q 36** Tracer les diagrammes de variations des efforts internes : l'effort normal $N(x)$, l'effort tranchant $V_y(x)$, le moment fléchissant $M_{fz}(x)$, pour cette poutre. Indiquer les valeurs extrêmes de ces efforts.

On prendra désormais la valeur approchée $M_{fz,max} = 280\,000 \text{ N} \cdot \text{m}$ pour le moment de flexion maximal à mi portée de la poutre, sous chargement ELS.

- Q 37** On évalue le comportement de la section à mi portée, la plus sollicitée en flexion. Calculer les valeurs à l'état limite ELS des contraintes maximales de traction et de compression dans la section de cette poutre rectangulaire. Conclure sur le respect des exigences concernant le béton à l'état limite ELS. Y a-t-il un risque de fissuration et quelles sont les hypothèses initialement faites pour le calcul qui seraient à remettre en cause pour traiter ce problème ? Pourquoi n'a-t-on pas choisi une dalle pleine non armée ?

5.2 Etude du modèle de la dalle alvéolaire

A partir de ce point, on raisonne sur la dalle alvéolaire réelle **DSR 2800 104 B**, contenant des armatures de précontraintes.

Suite à la prise en compte de la réduction de masse des alvéoles, on prendra maintenant

Agrégation interne « Sciences industrielles de l'ingénieur »		Session 2014
Epreuve de « Sciences industrielles de l'ingénieur »	Code : (...)	Page 12/37

en compte le chargement $(S_{ELS}) = (G) + (Q) = 1000 \text{ daN} \cdot \text{m}^{-1}$ et le moment de flexion maximal $M_{fz,max} = 190\,000 \text{ N} \cdot \text{m}$.

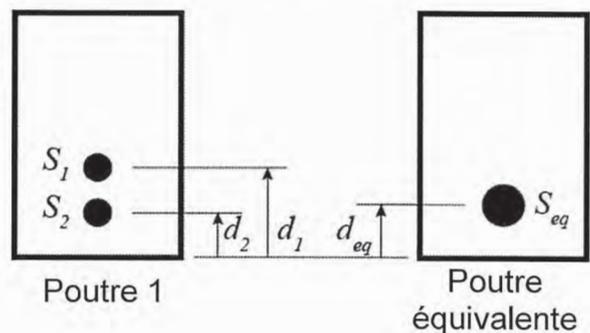
Q 38 On s'interroge sur le choix ayant conduit à cette référence de dalle. Vérifier en utilisant les documents du fournisseur si la dalle est adaptée au chargement de l'ELS.

On souhaite maintenant évaluer l'effet procuré par la présence des alvéoles internes.

Q 39 Déterminer le gain de masse en pourcentage obtenu par les alvéoles. Déterminer la perte de moment quadratique I_{gz} en pourcentage. Conclure sur l'effet des alvéoles internes.

La dalle alvéolaire utilisée est précontrainte à la réalisation par deux lits d'armatures tendues et noyées dans le béton lors du bétonnage. Ces lits de section S_1 et S_2 sont placés respectivement aux distances d_1 et d_2 au-dessus de la face inférieure de la dalle.

Dans le but de simplifier l'analyse, on remplace le modèle à deux lits de la poutre 1 par celui de la poutre équivalente ci-contre, comprenant un lit de section S_{eq} placé à la distance d_{eq} de la fibre inférieure.



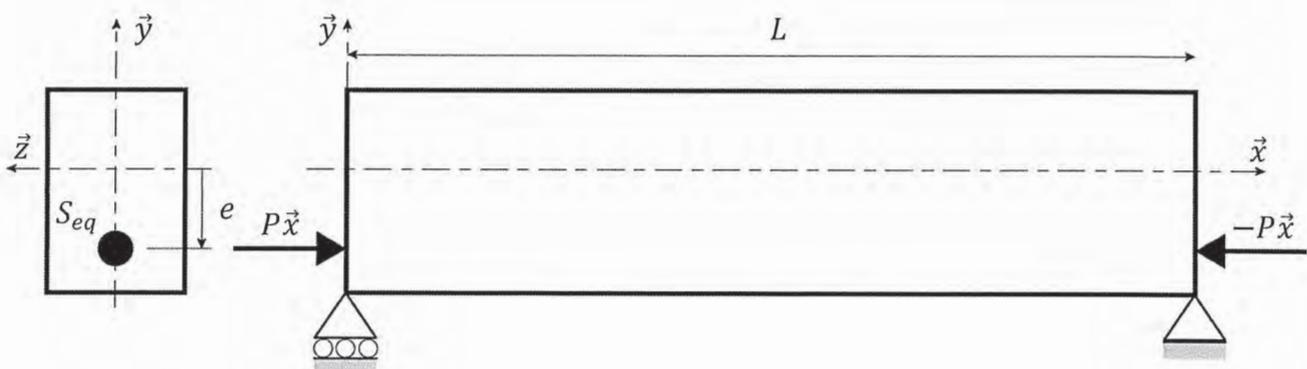
On considère que les armatures des lits 1 et 2 et celui de la poutre équivalente sont tendues avec la même contrainte normale σ_p .

L'utilisation de la poutre équivalente nécessite de déterminer ses caractéristiques.

Q 40 Déterminer la surface S_{eq} et la distance équivalente d_{eq} qui généreront le même effet de précontrainte dans les deux poutres.

On adopte à partir d'ici les caractéristiques de précontrainte $S_{eq} = 1150 \text{ cm}^2$ et $d_{eq} = 50 \text{ mm}$. Les torons peuvent être tendus au maximum à 75% de leur contrainte limite de rupture.

Les torons noyés dans le béton sont tendus jusqu'à une valeur de contrainte normale σ_p , et produisent l'effort de précontraint P excentré de la distance e par rapport au centre d'inertie de la section béton, tel que modélisé ci-dessous. La contreflèche à la mise en place de la dalle est d'environ 1/400 ème de la portée.



- Q 41** En modélisant la précontrainte par la superposition d'efforts normaux et de couples appliqués aux extrémités, déterminer la précontrainte σ_p ou contrainte dans les torons, qui génère la contre-flèche prévue de $\frac{L}{400}$ sous le poids propre des 28+5 cm de dalle. Est-il possible de tendre ainsi les torons ?

On considère maintenant que l'effort total de précontrainte exercé est $P = 2000 \text{ kN}$. Le chargement (S_{ELS}) = $G + Q$ génère toujours un moment maximal $M_{fz,max} = 190\,000 \text{ N.m}$ à mi-portée, auquel s'ajoute l'effet de la précontrainte, dont on négligera la variation éventuelle pendant le chargement.

On s'interroge sur la valeur réelle de la précontrainte dans la structure.

- Q 42** Expliquer pourquoi la valeur de la contrainte normale interne dans les torons pourrait changer pendant le chargement ?

5.3 Conclusion

On souhaite maintenant conclure sur la conformité au scénario ELS et l'adaptation au projet de la dalle alvéolaire utilisée.

- Q 43** Déterminer la valeur de la contrainte maximale dans le béton. Tracer le diagramme de répartition des contraintes dans la section. Conclure sur la conformité de la structure aux exigences du scénario ELS.
- Q 44** Expliquer pourquoi ce plancher a été réalisé en dalle alvéolaire, alors que les autres planchers sont réalisés en béton armé de pleine masse ?

Documentation technique

DT 1 Extrait de la notice de certification HQE®

a) Les 14 cibles de suivi de la certification

- 01 Relation du bâtiment à son environnement immédiat
- 02 Choix intégré des produits, systèmes et procédés de construction
- 03 Chantier à faible impact environnemental
- 04 Gestion de l'énergie
- 05 Gestion de l'eau
- 06 Gestion des déchets d'activité
- 07 Maintenance et pérennité des performances environnementales
- 08 Confort Hygrothermique
- 09 Confort acoustique
- 10 Confort visuel
- 11 Confort olfactif
- 12 Qualité sanitaire des espaces
- 13 Qualité sanitaire de l'air
- 14 Qualité sanitaire de l'eau

b) Notice d'entretien

La notice d'entretien permet au personnel d'entretien de comprendre et d'appréhender rapidement le bâtiment et les opérations à effectuer.

Elle sera constituée de :

- calendrier présenté sous forme de tableau récapitulant la répartition dans le temps de toutes les opérations d'entretien,
- pour chaque matériel figurant dans la nomenclature générale et nécessitant un entretien ou une révision périodique, une fiche comportant :
 - ✓ le rappel du repère, de la situation, de la fonction du matériel,
 - ✓ le nom et l'adresse du constructeur et du fournisseur,
 - ✓ la nature des interventions d'entretien (électrique, mécanique, etc.) et leur périodicité (dans le temps ou suivant la durée de fonctionnement),
 - ✓ la désignation des ingrédients imposés ou recommandés pour chaque nature d'intervention (nature des huiles de graissage par exemple),
 - ✓ les révisions périodiques recommandées ou imposées (dans ce dernier cas, référence des textes imposant des révisions et organismes habilités à les exécuter).
- une liste de l'outillage spécial nécessaire pour les interventions d'entretien
- Présentation des systèmes mis en œuvre
 - ✓ Photovoltaïque
 - ✓ Cuve de récupération des eaux de pluie
 - ✓ Phytoépuration
 - ✓ Ventilation naturelle par cheminée solaire

c) Carnet de vie du bâtiment

Ce document sera un outil de sensibilisation et d'information à la démarche environnemental et au développement durable du projet;il reprendra les thèmes suivants :

- Gestion des déchets
- Gestion de l'eau
 - Consommation en eau
 - Cuve de récupération des Eaux de pluies
 - Phytoépuration
- Confort d'été
 - Gestion des ouvrants de surventilation
 - Utilisation des stores

DT 2 Extrait simplifié de la norme NF EN 15316-4 : Systèmes de chauffage dans les bâtiments - Méthode de calcul des besoins énergétiques et des rendements des systèmes - Partie 4-6 : Systèmes de génération de chaleur, systèmes photovoltaïques

a) Énergie fournie par le système photovoltaïque

L'électricité produite par le système photovoltaïque $E_{el,pv,out}$ est calculée par :

$$E_{el,pv,out} = \frac{E_{sol} P_{pk} f_{perf}}{I_{ref}} \text{ en } kWh \cdot an^{-1} \quad (1)$$

où :

- E_{sol} est l'irradiation solaire annuelle sur le système photovoltaïque en $kWh \cdot m^{-2} \cdot an^{-1}$;
- P_{pk} est la puissance de crête en kW . Elle représente la puissance électrique d'un système photovoltaïque ayant une surface donnée et recevant une irradiance solaire de $1 kW \cdot m^{-2}$ sur sa surface (à 25 °C) ;
- f_{perf} est le facteur de performance du système (sans unité) ;
- I_{ref} est l'irradiance solaire de référence égale à $1 kW \cdot m^{-2}$.

Note 1 : Cette valeur de $E_{el,pv,out}$ constitue une donnée d'entrée pour les calculs conformément au prEN 15603. L'Annexe C donne des exemples de calculs. Il faut prendre également en compte l'influence de l'ombre portée par certaines parties du bâtiment (par exemple, cheminées, unités de ventilation) sur la quantité annuelle d'électricité produite.

Pour l'énergie renouvelable produite sur le site du bâtiment, aucune énergie entrante n'est prise en compte :

$$E_{pv,gen,in} = 0$$

Note 2 : Cette valeur constitue une donnée d'entrée pour les calculs conformément au prEN 15603.

Note 3 : Le prEN 15603 spécifie que, pour les systèmes solaires actifs, le rayonnement solaire incident sur les panneaux solaires n'entre pas dans le bilan énergétique. Seule l'énergie fournie par l'équipement de génération est prise en compte dans le bilan énergétique.

b) Irradiation solaire sur les modules photovoltaïques

L'irradiation solaire E_{sol} sur les modules photovoltaïques est calculée par :

$$E_{sol} = E_{sol,hor} f_{tilt} \text{ en } kWh \cdot m^{-2} \cdot an^{-1} \quad (2)$$

où :

- $E_{sol,hor}$ est l'irradiation solaire annuelle sur un plan horizontal dans une zone géographique en $kWh \cdot m^{-2} \cdot an^{-1}$. Les valeurs doivent être données dans une annexe nationale. Pour les valeurs informatives, voir le Tableau B.1 ;
- f_{tilt} est le facteur de conversion de l'inclinaison et de l'orientation (sans unité) pour le calcul de l'irradiation solaire sur la surface du module photovoltaïque. Les valeurs doivent être données dans une annexe nationale. Pour les valeurs informatives, voir le Tableau B.4.

c) Puissance de crête

La puissance de crête P_{pk} s'obtient dans des conditions normales d'essai (valeurs d'essai de référence de la température de la cellule $\theta = 25^{\circ}C$, en irradiance plane $I_{ref} = 1 kW.m^{-2}$, spectre de référence solaire de masse d'air AM = 1,5 pour un module PV ou un essai de cellule PV - EN 61829).

Si P_{pk} n'est pas disponible, cette valeur peut être calculée par :

$$P_{pk} = K_{pk}A \text{ en kW} \quad (3)$$

où :

- K_{pk} est le coefficient de puissance de crête en $kW.m^{-2}$ en fonction du type d'intégration du module photovoltaïque dans le bâtiment. Les valeurs doivent être données dans une annexe nationale. Pour les valeurs informatives, voir le Tableau B.2 ;
- A est la surface totale en m^2 de tous les modules photovoltaïques (encadrement non compris).

d) Facteur de performance du système

Le facteur de performance du système f_{perf} prend en compte la performance du système de l'installation photovoltaïque intégrée au bâtiment en fonction :

- du système de conversion du courant continu en courant alternatif ;
- de la température réelle de fonctionnement des modules photovoltaïques ;
- de l'intégration des modules photovoltaïques dans le bâtiment.

Le type de ventilation des modules photovoltaïques peut déterminer les différents types d'intégration dans le bâtiment.

Les valeurs pour le facteur de performance du système f_{perf} doivent être données dans une annexe nationale. Pour les valeurs informatives, voir le Tableau B.3.

e) Puissance thermique du panneau photovoltaïque

La puissance thermique n'est pas prise en compte :

$$Q_{pv,gen,out} = 0$$

Note : Cette valeur constitue une donnée d'entrée pour les calculs conformément au prEN 15603.

f) Consommation d'énergie des auxiliaires

La consommation d'énergie des auxiliaires est prise en compte en n'appliquant que la production d'énergie électrique nette (la production totale d'énergie moins la consommation totale d'énergie des auxiliaires au sein même du sous-système).

$$W_{pv,gen,aux} = 0$$

Note : Cette valeur constitue une donnée d'entrée pour les calculs conformément au prEN 15603.

g) Pertes thermiques du système

Les pertes thermiques du système ne sont pas prises en compte :

$$Q_{pv,gen,ls} = 0$$

Note : Cette valeur constitue une donnée d'entrée pour les calculs conformément au prEN 15603.

h) Pertes thermiques récupérables du système

Les pertes ne sont pas récupérables pour le chauffage des locaux :

$$Q_{pv,gen,ls,rbl} = 0$$

Annexe B (Extrait) : Valeurs informatives

Tableau B.1 : Valeurs informatives de l'irradiation solaire annuelle sur un plan horizontal (voir également l'EN ISO 15927-4)

Zone	Régions	$E_{sol,hor}$ ($kWh.m^{-2}.an^{-1}$)
PV1	PACA, Languedoc Roussillon	1 500
PV2	Rhône Alpes, Midi Pyrénées	1 350
PV3	Pays de la Loire, Poitou Charente, Aquitaine, Limousin, Auvergne	1 250
PV4	Bretagne, Basse Normandie, Centre, Bourgogne, Franche Comté	1 150
PV5	Nord Pas de Calais, Haute Normandie, Picardie, Ile de France, Champagne-Ardenne, Lorraine, Alsace	1 050

Tableau B.2 : Valeurs informatives du coefficient de puissance de crête

Type de module photovoltaïque	K_{pk} ($kW.m^{-2}$)
Silicium monocristallin ^{a)}	0,12 à 0,18
Silicium polycristallin ^{a)}	0,10 à 0,16
Couche mince de silicium amorphe	0,04 à 0,08
Autres couches minces	0,035
Couche mince de diséléniure de cuivre-gallium-indium	0,105
Couche mince de tellurure de cadmium	0,095
<i>a) Avec une densité de cellules photovoltaïques minimum de 80 %.</i>	

Tableau B.3 : Valeurs informatives du facteur de performance du système

Type d'intégration au bâtiment des modules photovoltaïques	f_{perf}
Modules non ventilés	0,70
Modules ventilés ou faiblement ventilés	0,75
Modules très ventilés ou à ventilation forcée	0,80

Tableau B.4 : Valeurs informatives du facteur de conversion d'inclinaison et d'orientation pour le calcul de l'énergie incidente sur la surface du module photovoltaïque (voir également l'EN ISO 15927 4)

ZONE PV1		Orientation				
		Ouest	Sud-Ouest	Sud	Sud-Est	Est
		Facteur de conversion f_{tlt}				
Angle	0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	30°	0,93	1,09	1,15	1,09	0,93
	45°	0,87	1,06	1,13	1,06	0,87
	60°	0,79	0,99	1,06	0,99	0,79
	90°	0,59	,074	0,77	,074	0,59

ZONE PV2		Orientation				
		Ouest	Sud-Ouest	Sud	Sud-Est	Est
		Facteur de conversion f_{tlt}				
Angle	0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	30°	0,93	1,06	1,10	1,06	0,93
	45°	0,87	1,02	1,08	1,02	0,87
	60°	0,79	0,95	1,00	0,95	0,79
	90°	0,60	0,70	0,71	0,70	0,60

ZONE PV3		Orientation				
		Ouest	Sud-Ouest	Sud	Sud-Est	Est
		Facteur de conversion f_{tlt}				
Angle	0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	30°	0,93	1,06	1,13	1,06	0,93
	45°	0,87	1,02	1,11	1,02	0,87
	60°	0,79	0,95	1,04	0,95	0,79
	90°	0,60	0,73	0,76	0,73	0,60

ZONE PV4		Orientation				
		Ouest	Sud-Ouest	Sud	Sud-Est	Est
		Facteur de conversion f_{tlt}				
Angle	0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	30°	0,93	1,06	1,11	1,06	0,93
	45°	0,87	1,02	1,08	1,02	0,87
	60°	0,79	0,95	1,01	0,95	0,79
	90°	0,60	0,70	0,74	0,70	0,60

ZONE PV5		Orientation				
		Ouest	Sud-Ouest	Sud	Sud-Est	Est
		Facteur de conversion f_{tlt}				
Angle	0°	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
	30°	0,93	1,06	1,11	1,06	0,93
	45°	0,87	1,03	1,08	1,03	0,87
	60°	0,79	0,96	1,01	0,96	0,79
	90°	0,59	0,72	0,74	0,72	0,59

DT 3 Exemple de présentation d'un tableau des productions

Aile	Orientation	Séries	Onduleurs	Type	Production <i>MWh.an⁻¹</i>
A	Nord-est	6 x 20	3	Onduleur SUNNY Boy 2500	A calculer en Q 5
	Sud-ouest	8 x 20	4	Onduleur SUNNY Boy 2500	A calculer en Q 5
B	Est	6 x 20	3	Onduleur SUNNY Boy 2500	63
	Ouest	6 x 20	3	Onduleur SUNNY Boy 2500	
C	Nord	6 x 20	3	Onduleur SUNNY Boy 2500	
	Sud	8 x 20	4	Onduleur SUNNY Boy 2500	

DT 4 Extrait de la documentation des onduleurs SUNNY BOY 2500HF

Caractéristiques techniques	Sunny Boy 2000HF	Sunny Boy 2500HF
Entrée (DC)		
Puissance DC max. (quand $\cos \varphi = 1$)	2100 W	2600 W
Tension d'entrée max.	700 V	700 V
Plage de tension MPP / Tension d'entrée nominale	175 V - 560 V / 530 V	175 V - 560 V / 530 V
Tension d'entrée min. / Tension d'entrée au démarrage	175 V / 220 V	175 V / 220 V
Courant d'entrée max.	12 A	15 A
Courant d'entrée max. par string	12 A	15 A
Nombre des entrées MPP indépendantes / Strings par entrée MPP	1 / 2	1 / 2
Sortie (AC)		
Puissance nominale (pour 230 V, 50 Hz)	2000 W	2500 W
Puissance apparente AC max.	2000 VA	2500 VA
Tension nominale AC / Plage	220 V, 230 V, 240 V / 180 V - 280 V	220 V, 230 V, 240 V / 180 V - 280 V
Fréquence du réseau AC / Plage	50 Hz, 60 Hz / -4,5 Hz ... +4,5 Hz	50 Hz, 60 Hz / -4,5 Hz ... +4,5 Hz
Fréquence nominale du réseau / Tension nominale du réseau	50 Hz / 230 V	50 Hz / 230 V
Courant de sortie max.	11,4 A	14,2 A
Facteur de puissance pour la puissance nominale	1	1
Facteur de déphasage réglable	-	-
Phases d'injection / Phases de raccordement	1 / 1	1 / 1
Rendement		
Rendement max. / Rendement européen	96,3 % / 95 %	96,3 % / 95,3 %
Dispositifs de protection		
Dispositif de déconnexion côté entrée	●	●
Surveillance du défaut à la terre / Surveillance du réseau	● / ●	● / ●
Parafoudre DC de type II intégrable	-	-
Protection inversion de polarité DC / Résistance aux courts-circuits AC / Séparation galvanique	● / ● / ●	● / ● / ●
Unité de surveillance du courant de défaut sensible à tous les courants	-	-
Classe de protection (selon CEI 62103) / Catégorie de surtension (selon CEI 60664-1)	I / III	I / III
Caractéristiques générales		
Dimensions (L / H / P)	348 / 580 / 145 mm (13,7 / 22,8 / 5,7 inch)	348 / 580 / 145 mm (13,7 / 22,8 / 5,7 inch)
Poids	17 kg / 37,4 lb	17 kg / 37,4 lb
Plage de température de fonctionnement	-25 °C ... +60 °C / -13 °F ... +140 °F	-25 °C ... +60 °C / -13 °F ... +140 °F
Émissions de bruits (typiques)	38 dB(A)	38 dB(A)
Autoconsommation (nuit)	1 W	1 W
Topologie	Transformateur haute fréquence	Transformateur haute fréquence
Système de refroidissement	Convection	OptiCool
Indice de protection (selon CEI 60529)	IP65	IP65
Indice de protection, zone de raccordement (selon CEI 60529)	IP54	IP54
Catégorie climatique (selon CEI 60721-3-4)	4K4H	4K4H
Valeur max. admise pour l'humidité relative (sans condensation)	100 %	100 %
Équipements		
Raccordement DC	SUNCLIX	SUNCLIX
Raccordement AC	connecteur à fiche	connecteur à fiche
Écran	graphique	graphique
Interface : RS485 / Bluetooth®	○ / ●	○ / ●
Garantie : 5 / 10 / 15 / 20 / 25 ans	● / ○ / ○ / ○ / ○	● / ○ / ○ / ○ / ○
Relais multifonctions	○	○
Certifications et homologations (autres sur demande)	CE, VDE0126-1-1, G83/1-1, RD 1663/2000, PPC, AS4777, EN 50438*, C10/11, PPDS, IEC 61727, ENELGuida, SI4777, UTE C15-712-1, VDE-AR-N 4105	
Désignation du type	SB 2000HF-30	SB 2500HF-30

**Panel photovoltaïques de la série PVL
Modèle : PVL-136**

UNI-SOLAR.

- Excellente performance même avec des températures élevées et un faible rayonnement
- Produit garanti 5 ans
- Garantie sur la puissance : 10 ans de garantie sur 92% de la puissance minimale, 20 ans sur 84%, 25 ans sur 80%
- Terminaux à connexion rapide* et face adhésive
- Tolérance aux effets d'ombrage grâce aux diodes bypass

Caractéristiques de puissance

Puissance nominale (P_{nom}) : 136 Wc
Tolérance de fabrication : ± 5 %

Caractéristiques techniques

- Dimensions:** longueur : 5486 mm (216"), largeur : 394 mm (15.5"), épaisseur : 4 mm (0.2"), 16 mm (0.6") avec prise de raccordement scellée
- Poids:** 7,7 kg (17 livres)
- Raccordement:** câble -4 mm² avec connecteurs MC² résistants aux intempéries - 560 mm (22") de longueur
- Diodes bypass:** connectées entre chaque cellule photovoltaïque
- Encapsulation:** en polymère ETFE résistant (par ex. Teizep®) à haute transparence
- Colle:** matériau d'étanchéité adhésif en éthylène-propylène-copolymère contenant de l'inhibiteur microbien
- Type de cellule:** 22 cellules solaires triple jonction en silicium amorphe, 356 x 239 mm (14" x 9,4") connectées en série

Certification et sécurité

TÜV Rheinland Certifié IEC 61646 et IEC 61730 par TÜV Rheinland pour une application en systèmes électriques jusqu'à 1000 VDC.



Certifié par l'organe de contrôle américain, Underwriter's Laboratories pour la sécurité électrique et la protection contre les incendies (classe de résistance au feu A inclinaison maximale 2/12, classe de résistance au feu B inclinaison maximale 3/12 et classe de résistance au feu C inclinaison non limitée) pour une application en systèmes électriques jusqu'à 600 VDC.

Configuration recommandée des terminaux

Laminés photovoltaïques avec prise de raccordement scellée et câbles avec connecteurs rapides.

Critères d'application

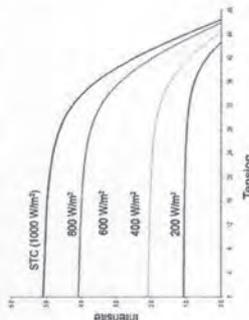
- Température d'installation entre 10 °C - 40 °C (50 °F - 100 °F)
- Température maximale de la toiture 85 °C (185 °F)
- Inclinaison minimale : 3° (1/2-1/2)
- Inclinaison maximale : 60° (21-1/2)
- Substrats approuvés :
La liste inclut tant des composants de toiture métallique que des membranes.
Contactez UNI-SOLAR pour plus de précisions.

Consultez le guide d'installation fabricant pour les substrats et les méthodes d'installation approuvées.

**Panel photovoltaïques de la série PVL
Modèle : PVL-136**

UNI-SOLAR.

Caractéristiques électriques pour différentes valeurs de rayonnement (niveau AM 1,5 et température de cellule 25 °C).



NOCT

(Température nominale des cellules en mode de fonctionnement)

- (1000 W/m², AM 1.5, température de cellule 25 °C)
- Puissance nominale maximale (P_{max}) : 136 Wc
- Tension pour P_{max} (V_{mp}) : 33 V
- Courant P_{max} (I_{mp}) : 4,13 A
- Courant de court-circuit (I_{sc}) : 5,1 A
- Tension à vide (V_{oc}) : 46,2 V
- Courant admissible sur le fusible : 8 A

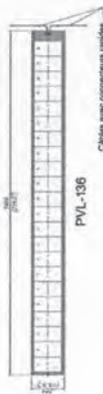
Coefficients de température

(pour AM 1,5, intensité de rayonnement 1000W/m²)

- Coefficient de température de I_{sc} : -0,0017/K (-0,10%/°C)
 - Coefficient de température de V_{oc} : -0,00387/K (-0,38%/°C)
 - Coefficient de température de P_{max} : -0,00217/K (-0,21%/°C)
 - Coefficient de température de I_{mp} : 0,00177/K (0,10%/°C)
 - Coefficient de température de V_{mp} : -0,00317/K (-0,31%/°C)
- * y = y référence (1+TC.(T-T référence))

- Remarques :**
1. Les données relatives à 10 incidences spectrales de test, les paramètres électriques dépassent les valeurs caractéristiques spécifiées. La puissance par mètre carré est supérieure de 15%, la tension de service de 11% et le courant de service de 4%.
 2. Les spécifications électriques (± 5%) se réfèrent aux mesures effectuées selon des conditions de test standard (niveau de rayonnement 1000 W/m², AM 1,5, température de cellule de 25 °C, après stabilisation).
 3. La puissance effective peut varier jusqu'à +10% de la puissance nominale en raison de basses températures, d'humidités supérieures ou autres. La tension à vide mesurée à l'installation ne doit pas dépasser les 600 VDC selon les normes locales. Les terminaux doivent être protégés par un dispositif de protection II, les 1000 VDC.
 4. Sous réserve de modifications des spécifications sans avis préalable.

Votre distributeur UNI-SOLAR



Toutes les dimensions sont indiquées en mm.
Conversion en pouces sans prise en compte des décimales.
Echelle : longueur : 1:0 (1/4"), largeur : 1:0 (1/8")

Siège mondial
United Solar Ovonic LLC
2656 Waterview Drive
Rochester Hills, MI 48309
Tel: +1 248 841 9174
Fax: +1 248 841 9174
Toll Free (USA): 1 800 528 0617
info@uni-solar.com

Europe
United Solar Ovonic
Europe SAS
Rue Albert 1er
Colmar
92027 Rueil-Malmaison Cedex
Tel: +33 1 74 70 46 24
Fax: +33 1 41 39 00 22
france@uni-solar.com

Subsidiar Allemagne
United Solar Ovonic
Energy GmbH
Trudering Strasse 7-9
60487 Frankfurt/Main
Tel: +49 69 7 137697 0
Fax: +49 69 7 137697 67
europ@uni-solar.com

United Solar Ovonic
United Solar Ovonic
Europe GmbH
Via Monte Baldo, 4
37069 Villafraanca (VR)
Tel: +39 045 9800982
Fax: +39 045 9817738
italyinfo@uni-solar.com

United Solar Ovonic
United Solar Ovonic
Europe GmbH
C/ Jose Ortega y Gasset 25
28006 Madrid
Tel: +34 911269051
Fax: +34 911852670
spaninfo@uni-solar.com

www.uni-solar.com

Une filiale de la société Energy Conversion Systems, Inc. (Nasdaq: ENER)

#AA5-3694-01

#AA5-3694-01

DT 6 Extrait du CCTP : chauffage, ventilation, climatisation, gestion technique centralisée

1 Caractéristiques des fluides à obtenir

Chauffage

Régime d'eau primaire : 45/40°C

Eau chaude constante (circuit batteries chaudes CTA, radiateurs)

- Température départ 45°C
- Température retour 40°C.

Eau chaude variable (circuit plancher chauffant)

- Température départ 32°C par -4°C extérieur
- Température retour 27°C.

Rafrâichissement

Régime d'eau primaire : 7/12°C

Eau glacée constante (circuit batteries froides CTA, ventilo-convecteurs)

- Température départ 7°C
- Température retour 12°C

Eau glacée variable (circuits plancher chauffant)

- Température départ 19°C par 28°C extérieur
- Température retour 24°C.

Ventilation

- renouvellement d'air (Cafétéria) : température de soufflage d'air 20°C
- traitement d'air (Salle de conférence) :
Température de soufflage d'air maximum chauffage : 30°C (DT 10°C)
Température de soufflage d'air minimum rafraîchissement : 16°C (DT 10°C)

Géothermie

- Rejet mini hiver : 0°C
- Rejet maxi été : 22°C
- DT 3°C

6 Hypothèses de calcul chauffage/rafrâichissement

6.1 Hypothèses Chauffage

La température extérieure minimale de base à prendre en compte pour le dimensionnement des installations de chauffage sera de - 4°C.

6.2 Hypothèses Rafrâichissement

Le rafraîchissement sera optimisé dans la limite de 26°C (RT2012) d'une part et d'autre part suivant les contraintes liées à la condensation dans le respect des prescriptions du CSTB.

7 Chauffage/rafrâichissement principe

La production de chaleur et de froid pour le bâtiment sera assurée par deux pompes à chaleur eau/eau d'une puissance thermique unitaire de 181 kW en conditions standard EUROVENT (+7°C). La dissipation des calories et frigories sera assurée par un ensemble de sondes géothermiques. Un jeu de vannes d'isolement motorisées permettra un change-over entre deux modes de fonctionnement:

- HIVER: la production de chauffage sera simultanée avec la production d'eau glacée afin de répondre aux besoins en froid des locaux techniques et de la CTA. Le rejet des frigories excédentaires se fera sur les sondes géothermiques.
- ETE: la production d'eau glacée sera nécessaire et le rejet des calories se fera sur les sondes géothermie via un échangeur "chaud"

Les émissions en chaud et froid seront assurées par des planchers chauffants réversibles dans le bâtiment principal à l'exception de la salle de conférence, des locaux situés en sous-sol et des locaux climatisés. La salle de conférence et le restaurant seront chauffés en tout air neuf par des centrales de traitement d'air.

Agrégation interne « Sciences industrielles de l'ingénieur »		Session 2014
Epreuve de « Sciences industrielles de l'ingénieur »	Code : (...)	Page 22/37

8 Production par pompe à chaleur eau/eau (géothermie surforage)

Les thermo-frigo-pompes ou pompes à chaleur (PAC) seront raccordées chacune sur deux boucles primaires, l'une reliée à l'évaporateur (boucle FROID) et l'autre reliée au condenseur (boucle CHAUD). Les boucles primaires seront constituées d'un ensemble de vannes de régulation et pompes desservant les échangeurs géothermiques et les collecteurs départ et retour permettant d'alimenter les boucles secondaires de chauffage et de refroidissement conformément au schéma de principe hydraulique fourni.

9 Boucles géothermie

Deux boucles assureront le transfert des calories et des frigories de l'installation à partir des boucles primaires FROID et CHAUD vers les sondes géothermiques.

10 Boucles secondaires plancher chauffant/rafraîchissant

Pour le plancher chauffant réversible, un système de collecteurs en local technique permettra d'isoler les fonctionnements des façades de façon à autoriser le chauffage et le rafraîchissement simultanés. Ce système sera composé de deux collecteurs : un collecteur façades froides et un collecteur façades chaudes. Chaque collecteur sera alimenté en eau chaude ou en eau glacée en fonction de la demande par l'intermédiaire d'une pompe et de vannes d'isolement motorisées pour le basculement en mode chaud ou froid.

11 Boucles secondaires a température constante

La régulation de température sur chacune des batteries chaudes ou froides sera réalisée par vanne trois voies motorisées au niveau des appareils.

12 Alimentation des sondes géothermiques

Depuis le local technique et jusqu'au regard de branchement extérieur, il sera prévu la fourniture et pose d'un réseau d'eau glycolée qui assurera le transfert des calories et des frigories de l'installation entre les pompes à chaleur et les sondes géothermiques.

13 Centrales de traitement d'air cafeteria et conférence

Pour la cafétéria et la salle de conférence, il sera prévu la mise place et le raccordement de deux centrales de traitement d'air (CTA 1 et CTA2) avec récupération de chaleur permettant l'extraction et le soufflage des débits d'air hygiénique et le chauffage et le rafraîchissement du local dans le cas de la salle de conférence.

14 Architecture du système de GTC généralités

Le système de gestion technique centralisée sera organisé autour d'un système de supervision connecté par l'intermédiaire d'un réseau haut débit, à différents réseaux de terrain via des routeurs. Ces réseaux de terrain sont raccordés sur des modules d'acquisition de données ou sur des modules de commandes.

15 Analyse fonctionnelle

Les équipements mis en service sur ces bâtiments seront supervisés conformément à l'analyse fonctionnelle définie ci-dessous.

- ⇒ Le fonctionnement est en tout air neuf avec caisson de mélange.
- ⇒ Mise en service de la centrale CTA selon deux modes :
 - par commande manuelle locale : mode auto/forcé (par interrupteur d'armoire),
 - par GTB.
- ⇒ Le maintien de la température de reprise constante par action progressive sur les vannes des batteries chaudes ou froides se fera par une régulation du type cascade, c'est-à-dire :

1ère courbe : Consigne de soufflage en fonction de la température de reprise :

- Consigne de soufflage à 20°C pour température de reprise à 20°C,
- Pente de la loi de cascade : 5 (une variation de température de reprise de 1°C crée une variation de consigne de soufflage de 5°C),
- Consigne de soufflage maximum : 30°C, minimum 15°C.

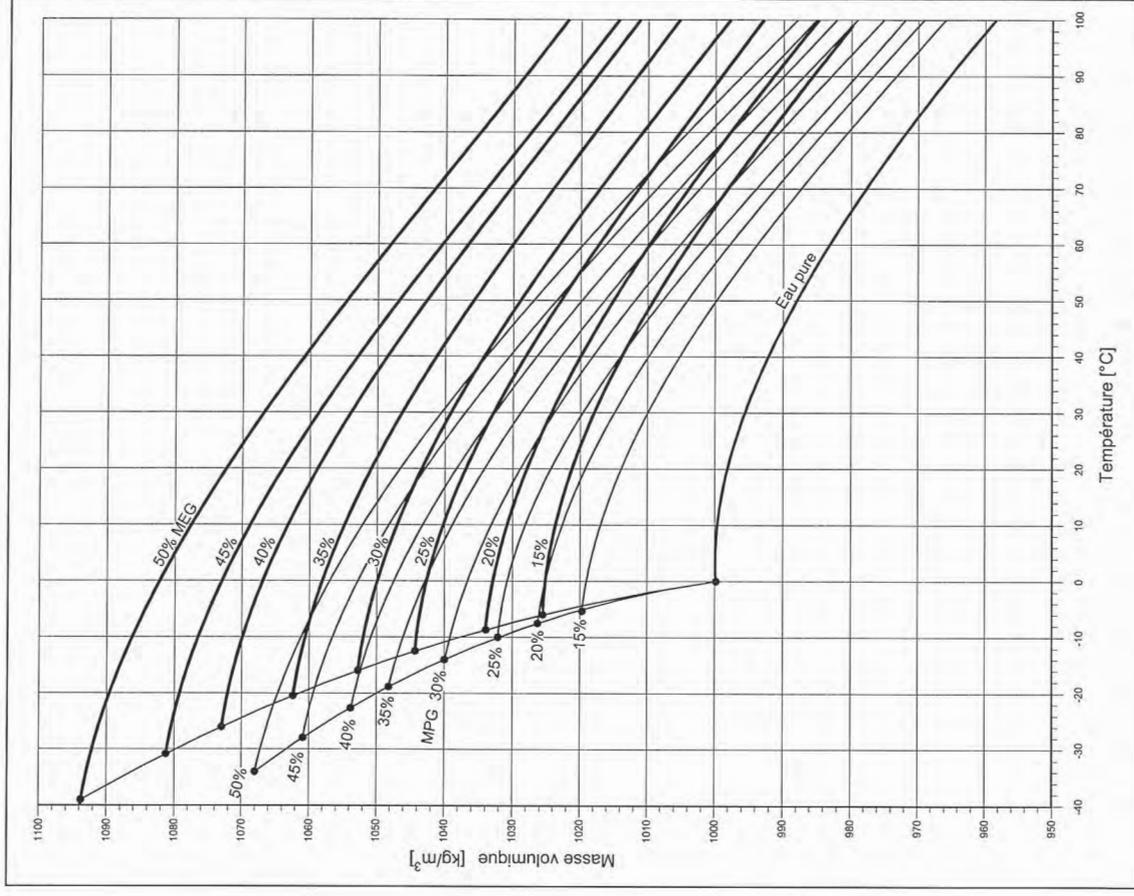
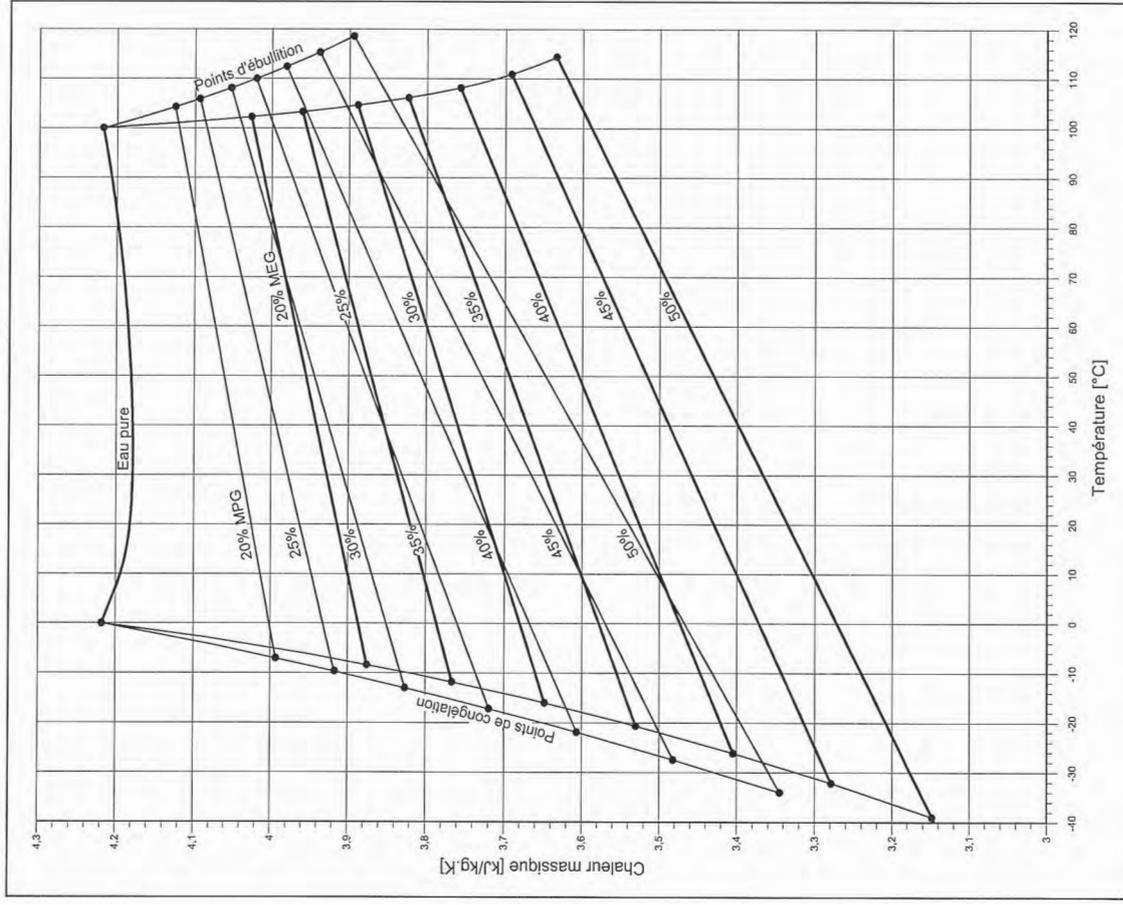
2ème courbe : Consigne de position des vannes en fonction de la température de soufflage :

- Zone neutre : 4°C, consigne centrée

Agrégation interne « Sciences industrielles de l'ingénieur »		Session 2014
Epreuve de « Sciences industrielles de l'ingénieur »	Code : (...)	Page 23/37

- Bande proportionnelle chaud : 10°C, bande proportionnelle froid : 10°C.
- ⇒ Maintien de l'hygrométrie constante en reprise avec limitation haute au soufflage par action progressive sur l'humidificateur vapeur. Signal à 0% à l'arrêt de la centrale.
- ⇒ Contrôle d'encrassement du pré filtre par pressostat différentiel.
- ⇒ Séquence de démarrage :
- Etape 1 : le démarrage de la ventilation, soufflage et reprise, sera temporisé de 120s par rapport à la mise en service de la CTA afin d'attendre l'ouverture du registre d'air neuf.
- Etape 2 : Contrôle de débit d'air soufflage par pressostat différentiel. Contrôle de débit d'air repris par pressostat différentiel. L'ensemble avec arrêt ventilation et alarme si débits non établis après temporisation de 10s.
- ⇒ Déclenchement du thermostat antigel sur alarme température batterie chaude :
- Arrêt ventilation,
 - Fermeture du registre d'air neuf,
 - Ouverture vanne batterie chaude
- ⇒ Arrêt de la centrale et alarme en cas de déclenchement du détecteur de fumée avec action sur les registres d'air neuf. L'action sur le registre d'isolement au soufflage est électromagnétique.
- ⇒ Le ventilateur de reprise sera asservi au ventilateur de soufflage et réciproquement. Ils fonctionnent en tout ou rien.
- ⇒ Retour d'état de chaque ventilateur (soufflage et reprise) par contrôle de l'état des contacteurs associés.
- ⇒ Retour d'état de chaque pompe (batterie chaude et batterie froide) par contrôle de l'état des contacteurs associés.

DT 7 Propriétés des fluides antigels

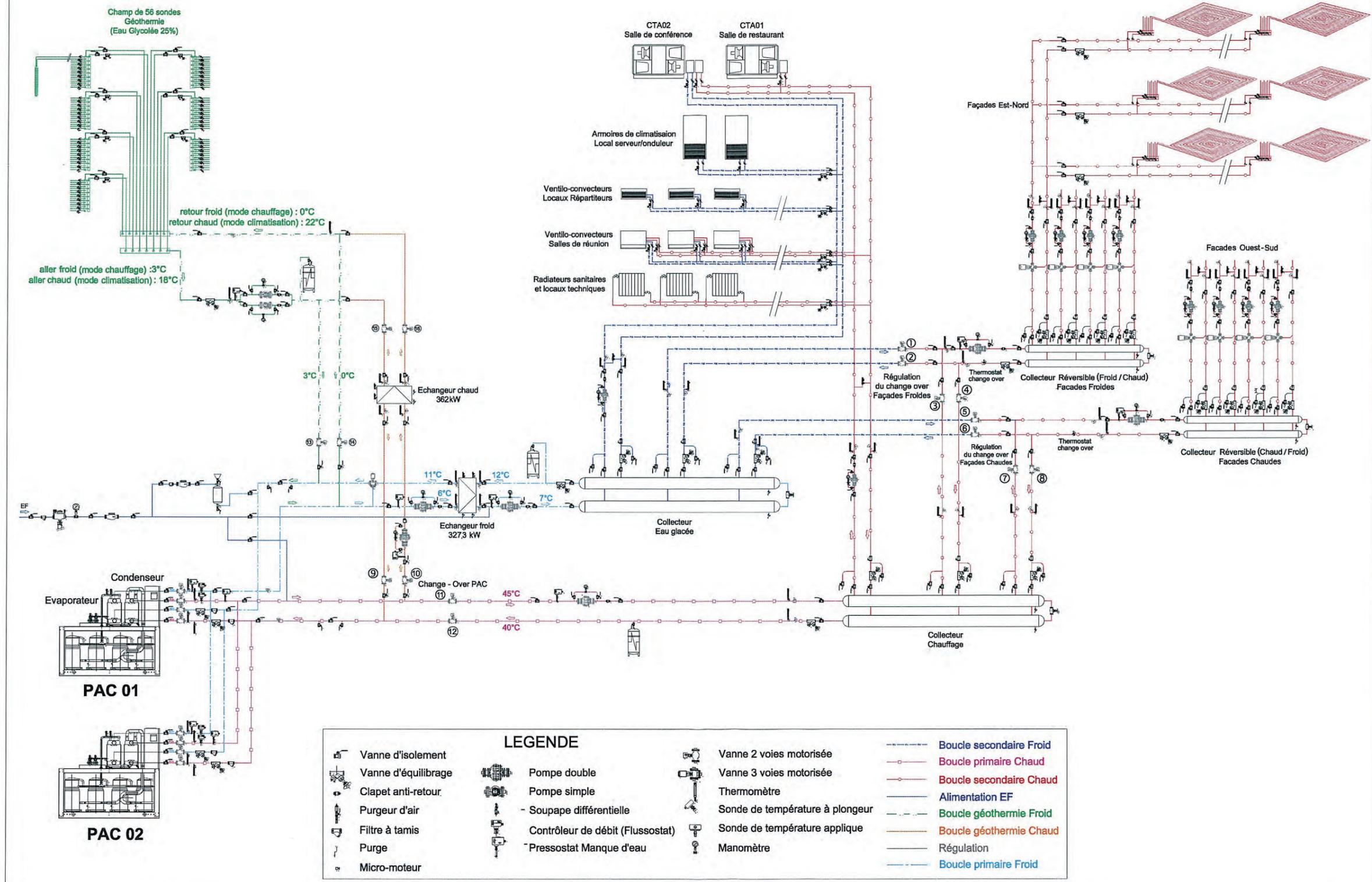


Propriétés de l'eau et des mélanges antigels

MEG : Monoéthylène-glycol

MPG : Monopropylène-glycol

SCHEMA DE PRINCIPE HYDRAULIQUE GEOTHERMIE HIVER



DT 10 Données concernant la structure et les actions mécaniques

On se limite ici à étudier les structures sollicitées par des actions mécaniques de deux types :

- Les actions permanentes liées à la gravité, notées (G)
- Les actions variables liées à l'utilisation des locaux, notées (Q)

On doit vérifier que la structure se comporte correctement selon différents scénarios, notamment :

- **L'état limite de service, nommé ELS** lors duquel l'aptitude au service de l'ouvrage est remise en cause, mais pas sa sécurité (pas de risque de ruine).
On contrôle la structure sous la combinaison (S_{ELS}) = (G) + (Q)
On contrôle l'ouverture des fissures dans le béton et la déformation des composants
- **L'état limite ultime nommé ELU** dont le dépassement peut conduire à la ruine structurelle.
On contrôle la structure sous la combinaison majorée (S_{ELU}) = 1,35 (G) + 1,5 (Q)
On contrôle les limites des résistances mécaniques (contraintes normales et de cisaillement provoquant une destruction irréversible de la matière)

Cahier des charges simplifié à l'état limite de service ELS pour les planchers

- Flèche maximale admissible : $f_{maxi} = \frac{\text{Portée du plancher}}{250}$
- Contraintes maximales admissibles dans les matériaux : $\begin{cases} \sigma_{\text{beton comprimé}} \leq 0,6f_{c28} \\ \sigma_{\text{acier passif tendu}} \leq Fe \end{cases}$

Charges permanentes supportées par le plancher :

- Poids propre du béton armé, précontraint et non armé (on néglige ici les aciers) : $2400 \text{ daN} \cdot \text{m}^{-3}$
- Plancher chauffant + chape + revêtement de sol : $30 \text{ daN} \cdot \text{m}^{-2}$
- Cloisons : $50 \text{ daN} \cdot \text{m}^{-2}$

Charges variables supportées par le plancher :

- Charge d'exploitation du bureau « open space » : $350 \text{ daN} \cdot \text{m}^{-2}$

Caractéristiques des bétons selon la réglementation en vigueur (Eurocodes):

Le comportement du béton étant statistiquement variable, non linéaire et variable dans le temps, les données ci-dessous, exprimées en méga pascals sont à prendre en compte :

- Résistance « caractéristique » du béton à la compression à 28 jours :
 $f_{c_k} = f_{c_{28}} = 50 \text{ MPa}$
- Résistance moyenne à la compression du béton à 28 jours : $f_{c_m} = f_{c_k} + 8 \text{ MPa}$
- Résistance caractéristique du béton à la traction à 28 jours : $f_{t_{28}} = 0,6 + 0,06f_{c_{28}}$
- Module d'élasticité longitudinal du béton de structure $E_{\text{beton}} = 9500(f_{c_m})^{1/3}$ arrondi au Giga-Pascal près

DT 11 Abaques mécaniques

Caractéristiques géométriques des sections droites

Section droite		
Moment quadratique	$I_{gz} = \frac{b \cdot h^3}{12}$	$I_{gz} = \frac{\pi \cdot D^4}{64}$
Surface complexe S		$I_{profilé S} = I_{âmes} + 2 \times I_{semelles}$

Flèches des cas de charge courants

Schéma mécanique	Moment maximal	Flèche en $x = \frac{L}{2}$
	Non précisé	$f = \frac{F \cdot a}{48 \cdot E \cdot I_{gz}} \cdot (3L^2 - 4a^2)$
	$M_{fz, max} = \frac{p \cdot L^2}{8}$ en $x = \frac{L}{2}$	$f = \frac{5 \cdot p \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_{gz}}$
	$M_{fz, max} = \frac{p \cdot L}{2}$ en $x = \frac{L}{2}$	$f = \frac{p \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I_{gz}}$
	Non précisé	$f = \frac{C \cdot L^2}{16 \cdot E \cdot I_{gz}}$

DT 12 Abaques mécaniques (suite)

Conventions liées au calcul de béton utilisées en ingénierie de la construction

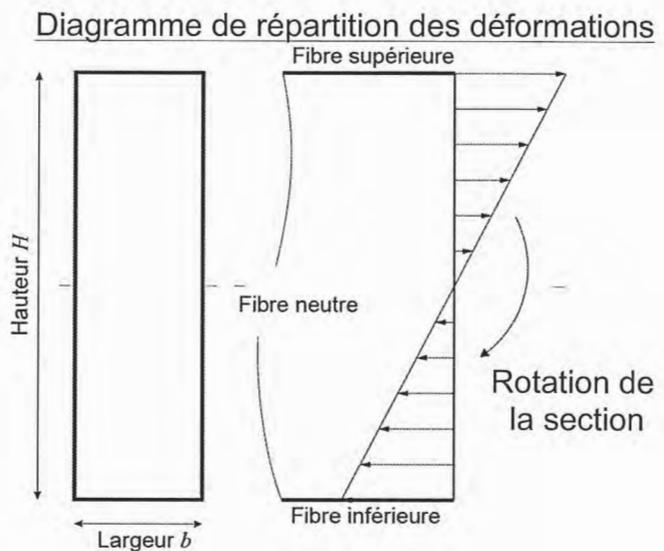
On adopte ici les conventions des ingénieurs de génie civil, à savoir :

- La résistance du béton tendu est souvent négligée car le béton fissure en zone tendue.
- Les contraintes de compression sont comptées positives, et celles de traction négatives.
- On suppose une adhérence parfaite entre l'acier et le béton, sans glissement

Représentation des phénomènes de déformation dans une section droite de poutre

Lors d'une sollicitation de flexion, les sections pivotent autour de la fibre nommée « fibre neutre ».

Une fibre de longueur L peut ainsi voir sa longueur varier de ΔL et on note $\varepsilon = \frac{\Delta L}{L}$ la variation relative de longueur de la fibre.



Contrainte normale dans une section

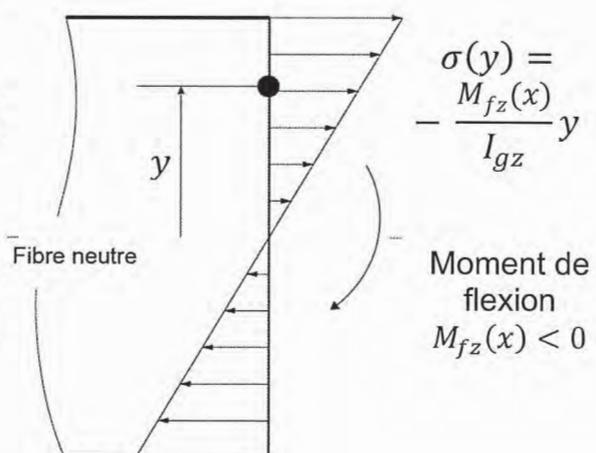
On appelle contrainte normale « σ » l'expression de la densité surfacique de force normale à une section de la matière, en un point.

Les déformations dans la section sont liées aux contraintes normales par la loi de Hooke : $\sigma = E\varepsilon$.

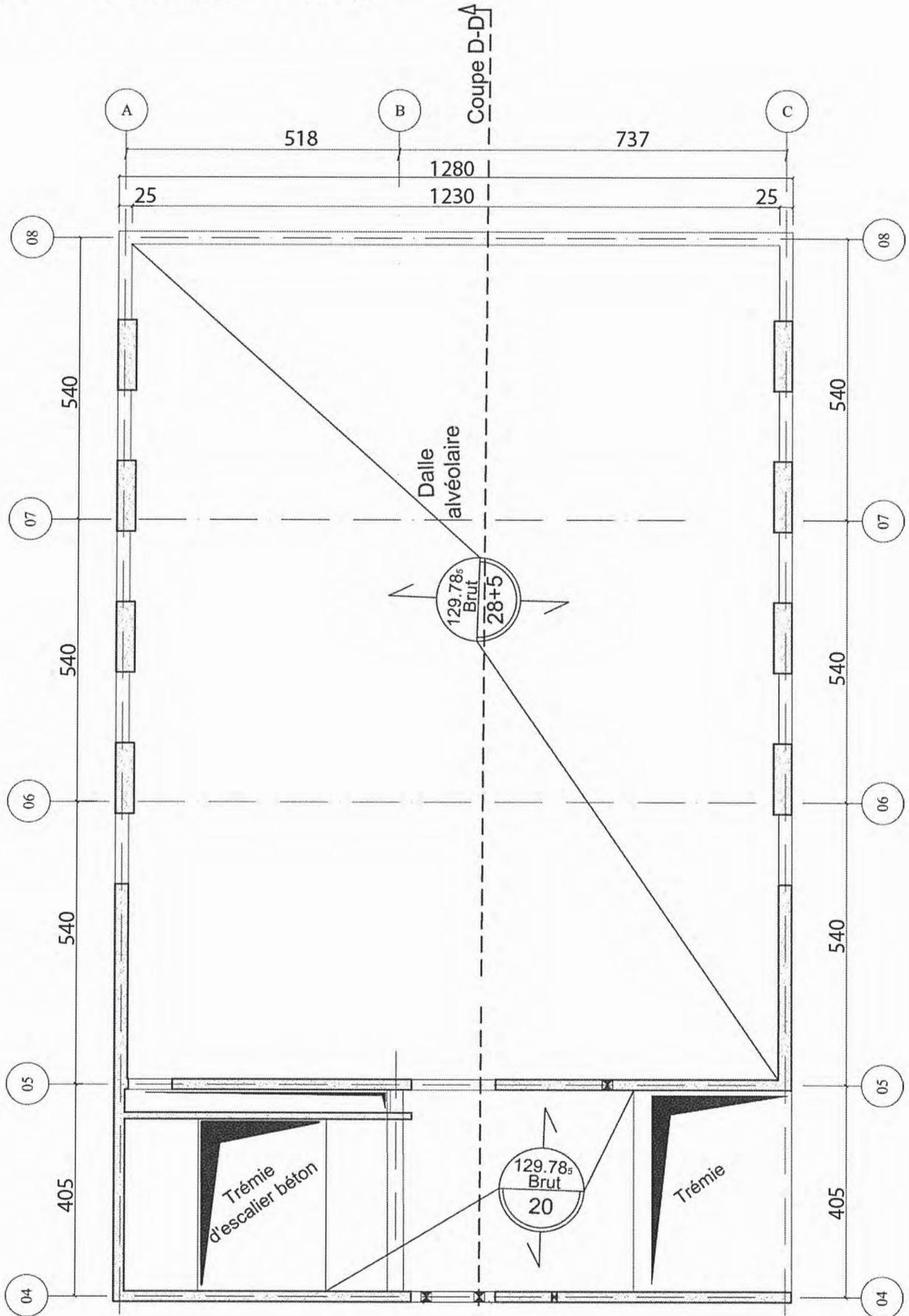
Dans une poutre homogène en flexion simple, il est possible de calculer la valeur des contraintes normales par la relation $\sigma(y) = -\frac{M_{fz}(x)}{I_{gz}} y$

y désigne l'altitude de la fibre considérée par rapport à la fibre neutre.

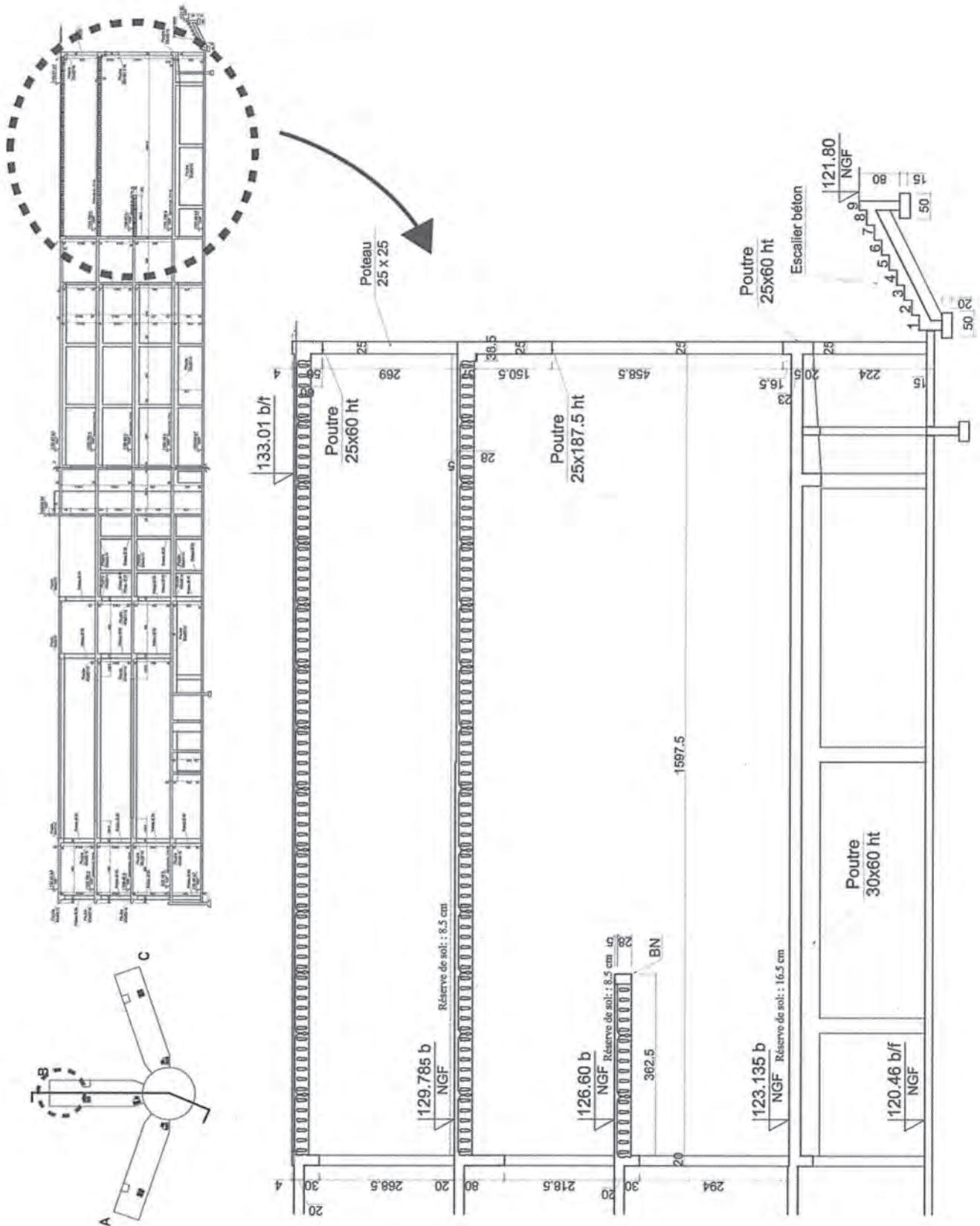
Calcul d'une contrainte normale dans une section homogène d'abscisse x



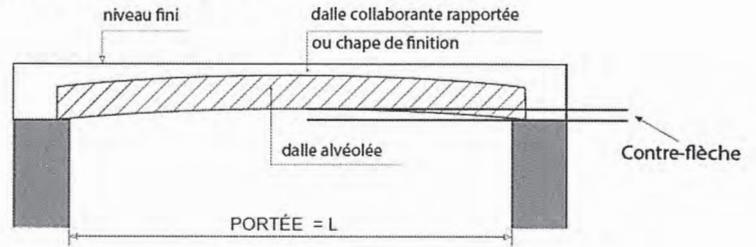
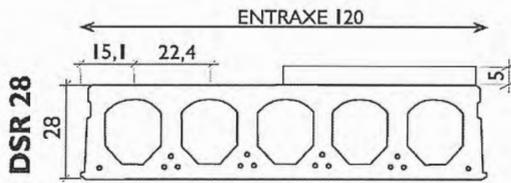
DT 13 Vue en plan de l'étage



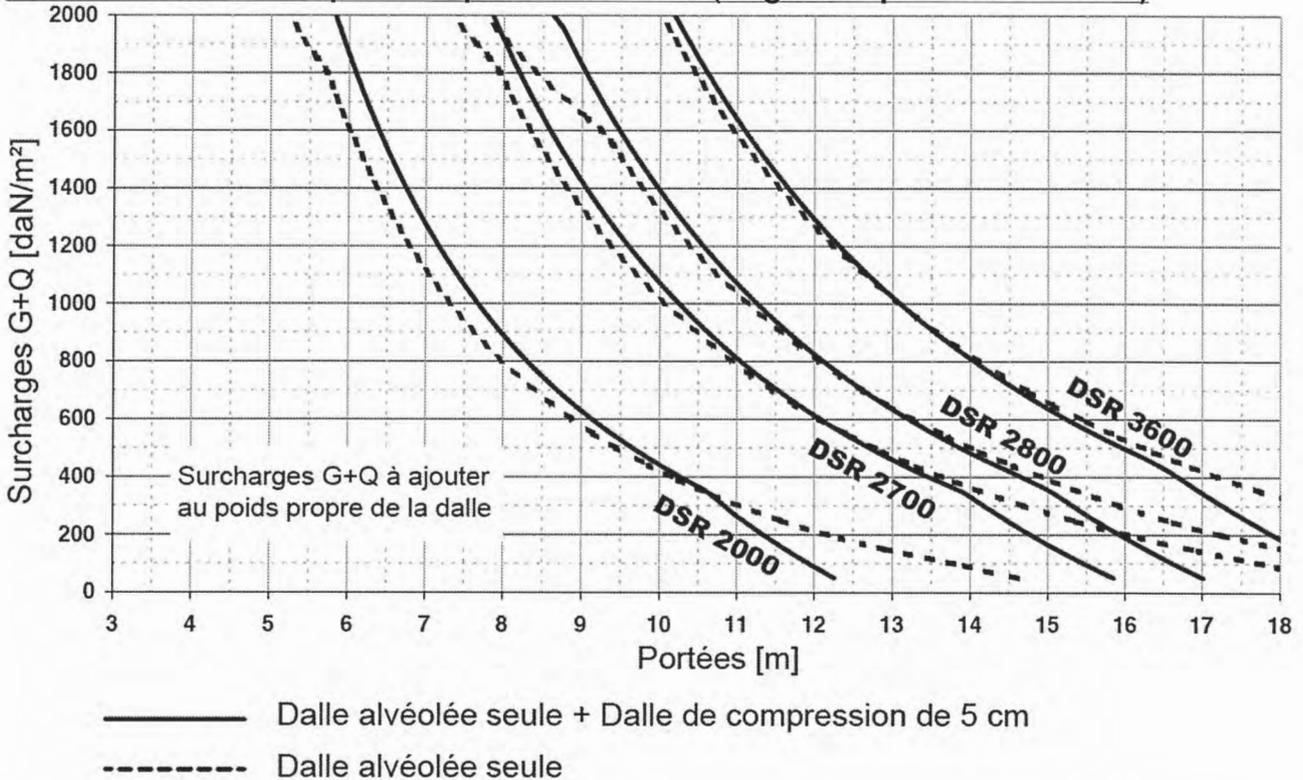
DT 14 Extrait de détail de la coupe longitudinale DD - Aile B sur plancher dalles alvéolaires



DT 15 Caractéristiques des dalles alvéolaires DSR 20 à 36



Portées admissibles pour les planchers DSR. (Degré coupe-feu une heure)



Caractéristiques des dalles renforcées DSR (avec dalle collaborante de 50 mm)

Type de dalle	Section (cm ²)	Moment d'inertie (cm ⁴)	V _s (cm)	V _i (cm)
DSR 20 (20+5)	1977	133 505	11,28	13,72
DSR 28 (28+5)	1941	311 149	15,26	17,74
DSR 32 (32+5)	2027	414 796	16,87	20,13

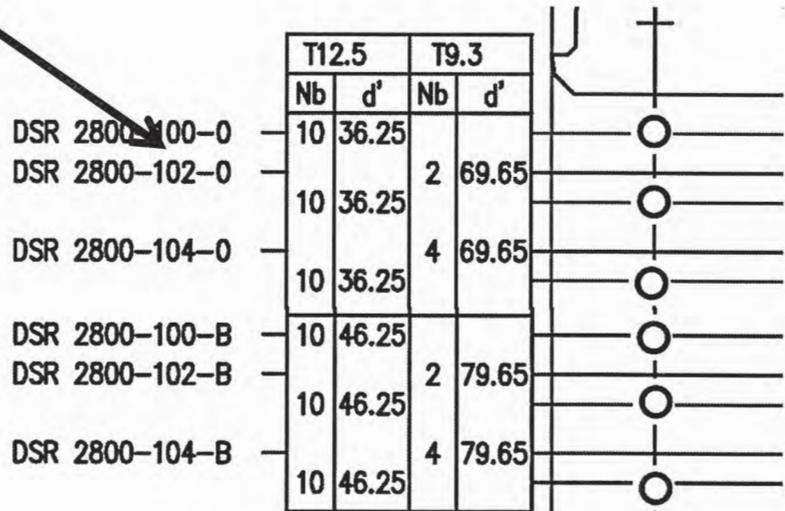
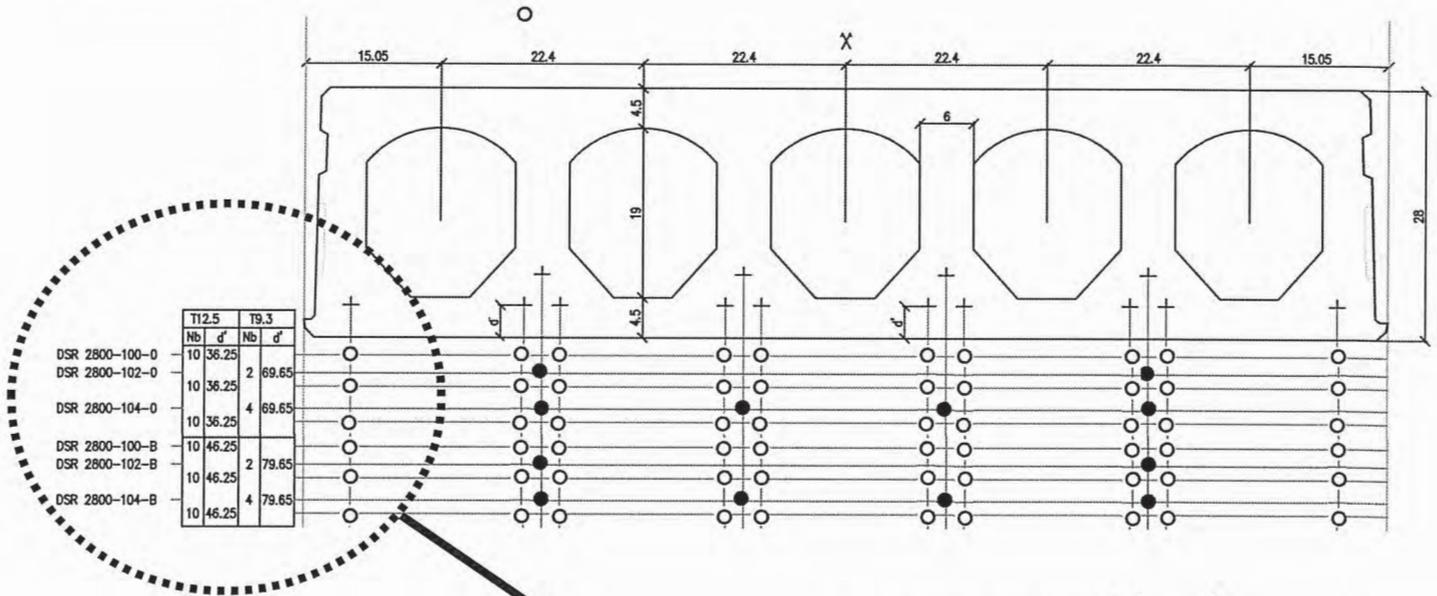
V_s et V_i : distances entre les fibres supérieures et inférieures et le centre d'inertie de la section béton

DT 16 Données sur les torons de précontrainte

Position des torons

Nb : Nombre de torons sur le lit horizontal

d' : distance du centre de l'armature à la fibre inférieure



Caractéristique des torons de précontrainte

Torons 7 fils, EN 10138



Module d'élasticité longitudinal : $E_p = 200\ 000\ MPa$

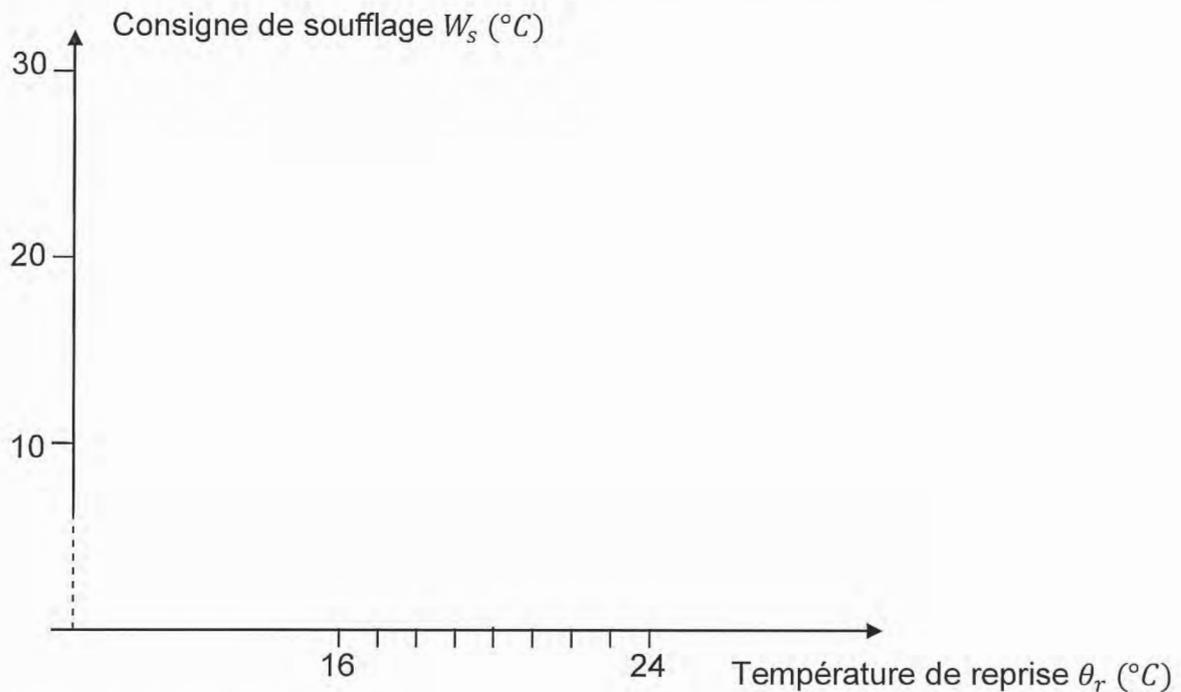
Code	Diamètre (mm)	Contrainte limite de rupture (MPa)	Masse ($g \cdot m^{-1}$)	Section (mm^2)	Rupture mini. (kN)	Rupture maxi. (kN)
T6.85	6,85	2060	220,2	28,2	58,1	68,8
T9.3	9,3	1860	406,1	52	96,7	111,0
T12.5	12,5	1860	726,3	93,0	173	199,0

DR 1. Document réponse 1 : tracé des courbes de lois de régulation

Question Q 31

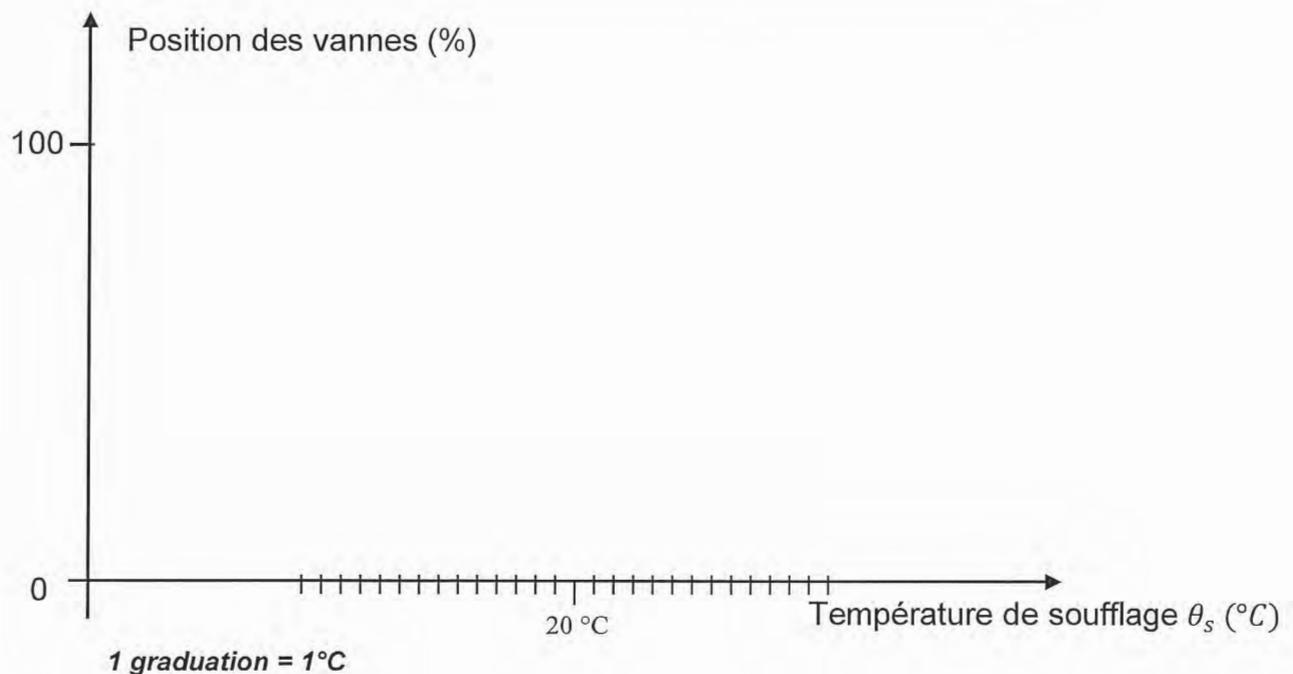
1ère courbe : loi de cascade

Consigne de soufflage en fonction de la température de reprise



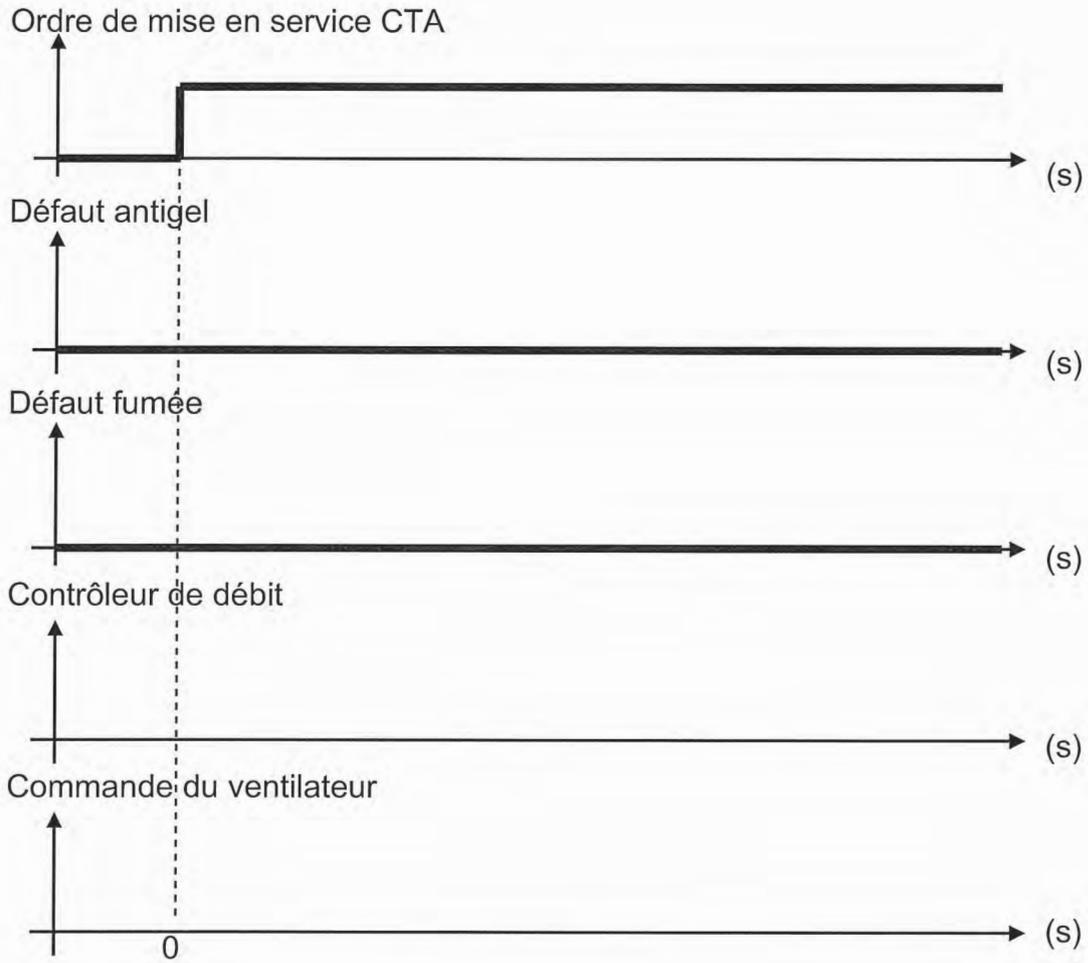
2ème courbe : diagramme statique

Position des vannes en fonction de la température de soufflage

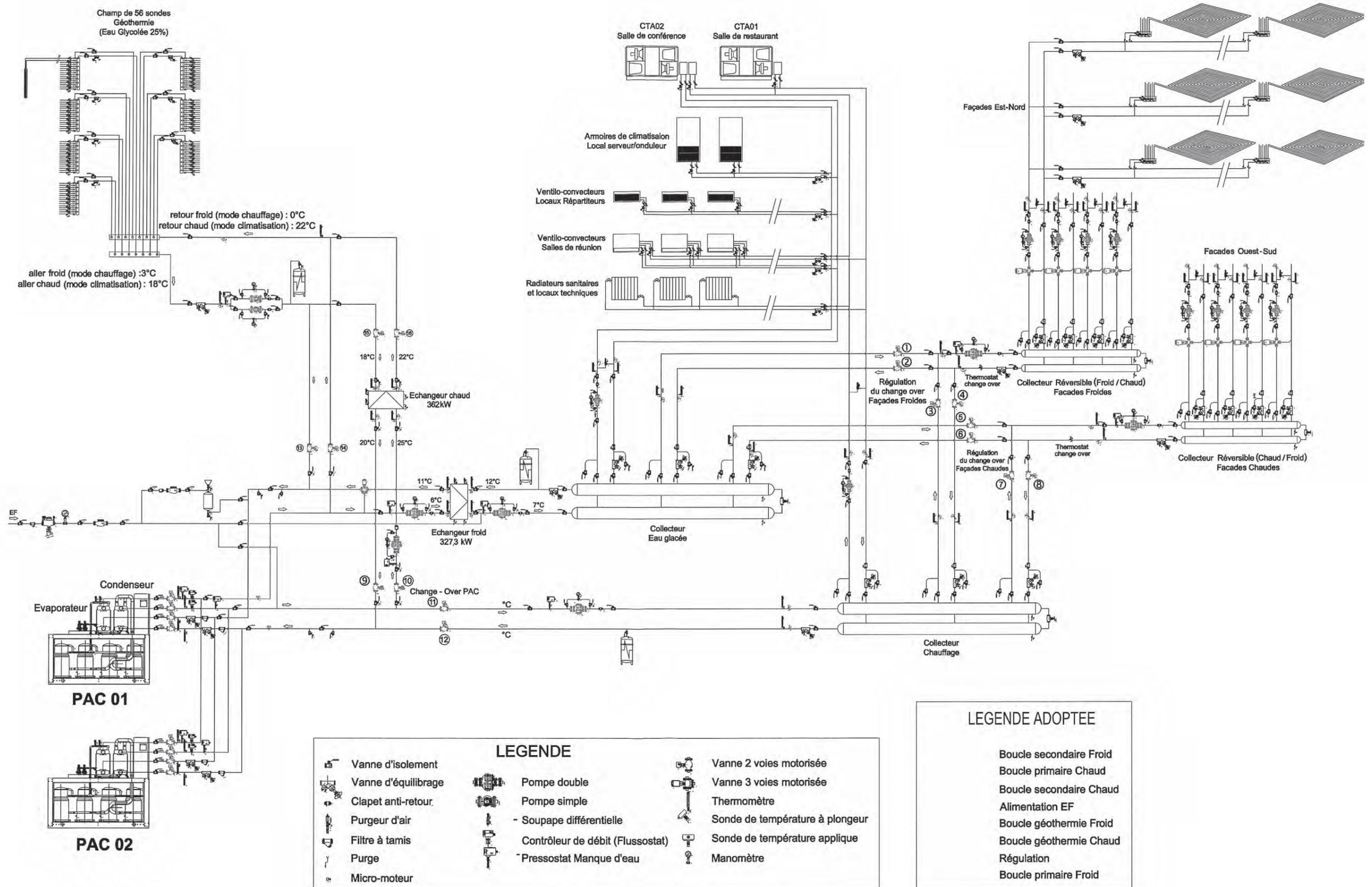


DR 2. Document réponse 2 : étude logique

Question Q 32



SCHEMA DE PRINCIPE HYDRAULIQUE GEOTHERMIE ETE



LEGENDE			
	Vanne d'isolement		Vanne 2 voies motorisée
	Vanne d'équilibrage		Vanne 3 voies motorisée
	Clapet anti-retour		Thermomètre
	Purgeur d'air		Sonde de température à plongeur
	Filtre à tamis		Sonde de température applique
	Purge		Manomètre
	Micro-moteur		Pompe double
	Pompe simple		Soupape différentielle
	Contrôleur de débit (Flussostat)		Pressostat Manque d'eau

LEGENDE ADOPTÉE
Boucle secondaire Froid
Boucle primaire Chaud
Boucle secondaire Chaud
Alimentation EF
Boucle géothermie Froid
Boucle géothermie Chaud
Régulation
Boucle primaire Froid