



MINISTÈRE
DE L'ÉDUCATION
NATIONALE, DE
L'ENSEIGNEMENT
SUPÉRIEUR ET DE
LA RECHERCHE

EFE GCE 1

SESSION 2016

CAPLP CONCOURS EXTERNE

Section : GÉNIE CIVIL

Option : ÉQUIPEMENTS TECHNIQUES - ÉNERGIE

ANALYSE D'UN PROBLÈME TECHNIQUE

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.

A

Consignes générales

Les résultats numériques ne seront pris en compte qu'avec leurs unités.
Il est rappelé que la présentation de la copie est un indicateur évalué par le jury.
Pour l'ensemble de l'étude, l'évaluation prendra en compte :

- La pertinence des méthodes et des éventuelles hypothèses,
- La précision et l'analyse des résultats,
- La qualité de la rédaction et le soin des tracés.

Constitution du sujet

Le sujet se décompose en 4 dossiers :

- une présentation du site,
- les différentes parties et leurs questions,
- les documents techniques,
- les documents réponses.

Présentation du site	page 3
Questions à traiter	pages 4 à 10
Documents techniques (DT)	pages 11 à 23
Documents réponses (DR)	pages 24 à 29

Le sujet comporte 4 parties totalement indépendantes, qui seront traitées sur des feuilles de copies séparées.

Les documents réponses seront remis dans les feuilles de copies correspondantes.

Dans une même partie, de nombreuses questions sont aussi indépendantes.

Concours externe CAPLP Génie civil option ETE		Session 2016
Repère épreuve	Epreuve d'analyse d'un problème technique	Page 2 sur 29
Durée : 4heures		

Présentation du site

Votre étude porte sur un Etablissement d'Hébergement pour Personnes Agées Dépendantes (EHPAD) et d'une unité d'Accueil Spécialisée Alzheimer qui comprend :

- au rez-de-jardin : les locaux sociaux, le pôle administratif et les unités spécialisées,
- au rez-de-chaussée : l'accueil, diverses salles à manger, l'office et des locaux spécifiques,
- sur les 3 étages de l'établissement : 58 chambres en hébergement permanent, 3 chambres en hébergement temporaire, des places en accueil de jour, et les salles de soins et les séjours.

Le bâtiment peut accueillir 61 personnes.

En hiver les conditions extérieures de base sont :

- θ sèche : -15°C / HR 90%

En hiver les conditions intérieures de base sont :

- θ sèche : 22°C / HR 50% 610%



EHPAD

La production de chaleur est réalisée de la façon suivante :

Une chaudière à condensation de marque VIESSMANN de type VITOCROSSAL 300 (puissance nominale de 460 à 508 kW), alimentée en gaz naturel 2H300 (300 mbar), située en chaufferie terrasse, alimentera :

- La batterie chaude d'une CTA au régime 70/50°C,
 - Deux réseaux de radiateurs,
 - Un réseau de planchers chauffants,
 - Un échangeur pour la production d'eau chaude sanitaire.
- Une pompe à chaleur air/eau glycolée sera implantée sur la terrasse. Elle sera réversible et permettra d'alimenter en été les planchers chauffants en eau glacée (régime 7/12°C) jusqu'à une température extérieure de 27°C, et en hiver les circuits planchers chauffants et radiateurs au régime 45/38°C jusqu'à la température extérieure de 0°C.
 - La pompe à chaleur est prioritaire par rapport à la chaudière à condensation.

Dans cette étude, nous allons nous intéresser :

- au fonctionnement global de l'installation en mode production de chaleur et d'eau glacée,
- au dimensionnement du système de production d'eau chaude sanitaire,
- à l'étude de la production d'eau glacée,
- à la ventilation d'une salle polyvalente / activités.

Concours externe CAPLP Génie civil option ETE		Session 2016
Repère épreuve	Epreuve d'analyse d'un problème technique	Page 3 sur 29
Durée : 4heures		



Partie 1 – Analyse de l’installation de production de chaleur et d’eau glacée

On s’intéresse dans cette partie au fonctionnement global de l’installation, en mode production de chaleur.

Travail demandé :

Etude du schéma de principe

- 1.1 En s’aidant de la documentation technique de la chaudière à condensation VITOCROSSAL 300 (DT01 page 11/29), représenter sur le schéma de principe (DR01 page 24/29) le raccordement hydraulique de celle-ci au réseau de production de chaleur.
- 1.2 Quel est l’intérêt d’un tel raccordement hydraulique?
- 1.3 Sur le schéma de principe (DR01 page 24/29) indiquer le sens de circulation des fluides dans les canalisations.
- 1.4 Préciser l’utilité des échangeurs à plaques ECH1, ECH2, ECH3.

Fonctionnement de l’ensemble chaudière / PAC

- 1.5 En utilisant le graphe de la puissance de chauffage des circuits radiateurs et planchers chauffants, en fonction de la température extérieure (DT02 page 12/29), déterminer la valeur minimale nominale de la puissance calorifique de la pompe à chaleur.
- 1.6 Le mode de fonctionnement de l’installation de production de chaleur vous semble-t-il pertinent ?
- 1.7 Sélectionner la pompe à chaleur (DT03 pages 13 et 14/29).
- 1.8 Compléter le tableau « Fonctionnement des composants de l’installation » (DR 02 page 25/29), et justifier le positionnement des jeux de vannes V2V-A, V2V-B et V2V-C.

Fonctionnement du brûleur hémisphérique radiant Matrix

S’aider du document technique (DT04 pages 15 et 16/29).

- 1.9 Quelle peut être la grandeur mesurée transmise à la régulation pour obtenir la demande R au boîtier de contrôle du brûleur ?
- 1.10 Dans quelles circonstances peut-on obtenir une mise en dérangement à la phase 37 : temps de vérification de la flamme ?
- 1.11 Donner un ordre de grandeur possible et couramment utilisée de la valeur du limiteur de température de sécurité STB.

Concours externe CAPLP Génie civil option ETE		Session 2016
Repère épreuve	Epreuve d’analyse d’un problème technique	Page 4 sur 29
Durée : 4heures		

Partie 2 – Production de l'eau chaude sanitaire

On s'intéresse dans cette partie au dimensionnement du système de production d'eau chaude sanitaire.

Pour la production d'eau chaude sanitaire, 30 capteurs solaires de type « plan vitré » à circulation de liquide forcée sont intégrés à la toiture.

Un interrupteur crépusculaire réglable, à contact inverseur, pilote la mise en service de la pompe primaire solaire vers l'échangeur ECH5. L'appoint est fourni par la chaudière gaz.

Il est prévu la mise en œuvre d'un échangeur à plaques ECH5 en acier inoxydable placé entre la distribution de fluide solaire primaire glycolé et le secondaire.

Voir schéma de principe de la production d'ECS (DT07 page 20/29).

Données :

Position des capteurs solaires :

- Orientation : 0° / Sud,
- Inclinaison par rapport à l'horizontale : 40°,
- Les capteurs seront réunis en batterie de 6 capteurs.

Caractéristiques des capteurs solaires :

- Viessmann Vitosol 200-F type SV2A (DT05 1/2 page 17/29),
- Rendement d'un capteur solaire d'après la norme EN 12975.

$$\eta = \eta_0 - \left[k_1 \times \frac{(T_m - T_{ext})}{G} + k_2 \times \frac{(T_m - T_{ext})^2}{G} \right] \times 100$$

η_0 : Rendement optique en %

k_1 [W/m².K] : Coefficient de perte thermique par conduction,

k_2 [W/m².K²] : Coefficient de perte thermique par convection,

T_m [°C] : Température moyenne du fluide caloporteur,

T_{ext} [°C] : Température extérieure,

G [W/m²] : Puissance solaire globale reçue par le plan du capteur solaire.

Echangeurs à plaques ECH 5 en inox entre le primaire solaire et le secondaire ECS :

- Température d'entrée primaire : 80 °C,
- Température de sortie primaire : 73 °C,
- Fluide primaire : eau glycolée à 40 %.

Travail demandé :

Etude des capteurs solaires

Dans cette partie, on considère une puissance solaire globale de 1 000 W/m².

- 2.1 Calculer le rendement d'un capteur plan vitré SV2A et celui d'un capteur à tubes sous vide SP2A selon la norme européenne EN 12975, pour une température extérieure de 5°C (DT05 pages 17 et 18/29).
- 2.2 Sur le document réponse (DR03 page 26/29), tracer la courbe du rendement du capteur sous vide pour les 5 valeurs de $(T_m - T_{ext})$ du tableau.
- 2.3 Expliquer l'origine des valeurs de rendement différentes entre ces deux types de capteurs.

Concours externe CAPLP Génie civil option ETE		Session 2016
Repère épreuve	Epreuve d'analyse d'un problème technique	Page 5 sur 29
Durée : 4heures		

Tournez la page S.V.P.

- 2.4 Calculer le coût d'achat des capteurs solaires plans et sous vide ; justifier alors le choix des capteurs plans vitrés pour cette étude (DT05 pages 17 et 18/29).

Etude du stockage de l'énergie solaire

Il est prévu la mise en œuvre de quatre ballons identiques de stockage solaire permettant de créer un volume tampon.

La température de l'eau froide sera prise égale à 10°C (masse volumique de 10^3 kg/m^3 ; chaleur massique de $4,185 \text{ kJ/kg}^{\circ}\text{C}$).

- 2.5 Calculer le volume de stockage de chaque ballon en s'aidant de DT6, page 19/19. La température de puisage est de 50°C , et celle de stockage de 60°C .
Nous prendrons un coefficient de sécurité de 1,2 pour garantir la couverture des autres besoins.

- 2.6 Calculer la température moyenne de l'eau dans les ballons de stockage en fin de journée lors de la première mise en service (pas de soutirage pendant cette montée en température), sachant que l'énergie solaire journalière récupérable est de $1,7 \text{ kWh/m}^2$ de surface nette de capteur et que le volume total de stockage est de 4 000 l. On considère les pertes thermiques négligeables.
Calculer ensuite la quantité d'énergie en kWh que devra fournir la chaudière gaz au ballon tampon **d'appoint** de 1 000 litres pour obtenir la température de stockage de 60°C le matin.

- 2.7 Le principe de fonctionnement du système ECS solaire est appelé « double échange » ou « en eau morte ». Expliquer le fonctionnement de ce type d'installation. Citez 2 avantages et 2 inconvénients de ce système.

Etude du système d'expansion sur le réseau capteurs solaires

S'aider du document technique (DT08 page 21/29).

L'expansion du réseau primaire du fluide solaire sera assurée par un vase d'expansion installé en chaufferie, du type fermé sous pression d'azote. Le circuit sera muni d'une soupape de sécurité tarée à 6 bars.

- 2.8 Calculer le volume total d'eau V_t contenu dans le circuit primaire.
En déduire sa masse.
- 2.9 En appliquant le principe de conservation de la masse, exprimer le volume d'expansion V_{ex} en fonction de la masse volumique du fluide à 120°C , de la masse volumique du fluide à -15°C et du volume total V_t .
Calculer celui-ci.
- 2.10 Calculer la pression de gonflage initial P_g du vase d'expansion, ainsi que la pression maximale de fonctionnement P_f .
- 2.11 On considère un volume d'expansion V_{ex} de 14 l. Calculer le volume utile V_{ut} du vase d'expansion.
- 2.12 Calculer le volume nominal V_n du vase d'expansion, et sélectionner celui-ci dans la gamme proposée.
- 2.13 En fonction des données constructeur, calculer la pression de remplissage du circuit à froid.

Concours externe CAPLP Génie civil option ETE		Session 2016
Repère épreuve	Epreuve d'analyse d'un problème technique	Page 6 sur 29
Durée : 4heures		

Partie 3 – Production d'eau glacée

Le circuit primaire entre la P.A.C. et l'échangeur en chaufferie sera rempli avec l'adjonction d'un complexe antigel et anticorrosion garantissant une protection de l'évaporateur jusqu'à une température de $-21\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Conditions de fonctionnement en mode froid à pleine charge :

- Régime d'eau glacée glycolée : $7 / 12\text{ }^{\circ}\text{C}$
- Pression relative de condensation : $p_k = 33,5\text{ bar}$
- Température d'entrée du fluide frigorigène dans le compresseur : $7\text{ }^{\circ}\text{C}$
- La surchauffe dans la conduite d'aspiration n'est pas significative
- Sous-refroidissement dans le condenseur : 4 K
- Le volume balayé des compresseurs : $q_{v_{ba}} = 196,89\text{ m}^3/\text{h}$
- Les pertes de charge dans les tuyauteries et échangeurs sont négligées.
- La pression de vaporisation p_o lue au manomètre est de $7,5\text{ bar}$.
- Le débit volumique du fluide frigorigène $q_{v_{FF}}$ est donné par la formule : $q_{v_{FF}} = q_{v_{ba}} \times \eta_{\text{volumétrique}}$
- Température critique du R410A : $72,5\text{ }^{\circ}\text{C}$

Travail demandé :

Etude du circuit frigorifique de la PAC en mode froid.

Le refroidissement de l'eau est assuré par un échangeur à plaques brasées, fonctionnant à contre courant. Le pincement (p) de vaporisation du refroidisseur de liquide est de 5 K , il est considéré comme constant.

- 3.1 Déterminer la température d'évaporation du fluide frigorigène pour un régime d'eau glacée de $7/12\text{ }^{\circ}\text{C}$. Justifier votre réponse.
- 3.2 Tracer sur le diagramme document réponse (DR04 page 27/29) le cycle de fonctionnement de la machine frigorifique en supposant une compression isentropique.
- 3.3 Tracer sur le même diagramme document réponse (DR04 page 27/29) le cycle de fonctionnement de la machine frigorifique après avoir déterminé l'enthalpie réelle de sortie du compresseur en prenant comme hypothèse que le compresseur est parfaitement isolé.
 $\eta_{\text{volumétrique}} = 0,88$; $\eta_{\text{mécanique}} = 0,92$; $\eta_{\text{indiqué}} = 0,89$; $\eta_{\text{elc}} = 0,96$
- 3.4 Compléter le tableau des données thermodynamiques document réponse (DR05 page 28/29) qui caractérisent l'évolution du cycle dans ces conditions de fonctionnement réel.
- 3.5 Que pensez-vous des conditions de fonctionnement de cette machine ?
- 3.6 La valeur de la surchauffe est-elle satisfaisante ? Pourquoi faut-il prévoir une surchauffe dans une machine thermodynamique ?
- 3.7 Calculer le débit massique du fluide frigorigène en circulation dans le circuit frigorifique.
- 3.8 Calculer la puissance thermique rejetée au condenseur pour les conditions de fonctionnement réel.

Concours externe CAPLP Génie civil option ETE		Session 2016
Repère épreuve	Epreuve d'analyse d'un problème technique	Page 7 sur 29
Durée : 4heures		

Le coefficient **ESEER** (**E**uropean **S**easonal **E**nergy **E**fficiency **R**atio) a pour objectif de caractériser l'efficacité saisonnière des groupes de production d'eau glacée en prenant en compte leurs performances à charges partielles suivant les conditions de calcul établies par l'organisme de certification Européen EUROVENT.

La puissance frigorifique nominale du refroidisseur de liquide est estimée à 190 kW.

- 3.9 Calculer l'efficacité saisonnière ESEER du groupe d'eau glacée selon le mode de calcul établi par EUROVENT (DT09 page 22/29). Compléter pour cela le tableau des performances à charge partielle document réponse (DR05 page 28/29).

Concours externe CAPLP Génie civil option ETE		Session 2016
Repère épreuve	Epreuve d'analyse d'un problème technique	Page 8 sur 29
Durée : 4heures		

Partie 4 – Ventilation de la salle polyvalente / activités

La salle polyvalente / activités est équipée d'une centrale de traitement d'air double flux ALDES DFE 2000 assurant l'amenée d'air neuf à 22°C.

Le débit d'air soufflé, égal au débit de reprise, est de 1 700 m³/h.

Cette centrale est équipée :

- 1 section filtre type G4, sur l'air neuf,
- 1 section filtre à poche F7 sur glissières accessible par la face démontable de la centrale, sur l'air neuf,
- 1 échangeur à plaques,
- 1 caisson de ventilation au soufflage équipé d'un ventilateur radial à double ouïe et aubes inclinées vers l'avant en acier galvanisé,
- 1 caisson batterie chaude au régime de fonctionnement 70 / 50°C,
- 1 caisson piège à sons placé à la reprise avec baffes en fibre minérale,
- 1 caisson de ventilation au rejet équipé d'un ventilateur radial à double ouïe et aubes inclinées vers l'avant en acier galvanisé,
- 1 sonde antigel de l'échangeur à plaques,
- des registres motorisés antigel compris tringlerie,
- évacuation des condensats.

Données :

L'efficacité d'échange est donnée par la relation :

$$E = \frac{\sup(\Delta t_1, \Delta t_2)}{\Delta t_e}$$

Δt_1 : Ecart de températures sur le fluide primaire ($t_{1e} - t_{1s}$)

Δt_2 : Ecart de températures sur le fluide secondaire ($t_{2s} - t_{2e}$)

Δt_e : Ecart de températures entre les entrées ($t_{1e} - t_{2e}$)

sup () : valeur supérieure

L'économie annuelle peut être déterminée de façon simplificatrice par l'expression suivante:

$$\text{Economie annuelle} = \frac{24 \text{ Pr} \times DJ \times i}{\eta}$$

Economie annuelle = énergie annuelle gagnée en kWh / an

24 = durée journalière de fonctionnement de la VMC en heures

Pr = puissance récupérée sur l'air neuf en kW/°C

DJ_{22°C} = 3 801 °Cj

i = coefficient d'intermittence de fonctionnement de la VMC, ici = 1

η = rendement du système, ici considéré égal à 1

Concours externe CAPLP Génie civil option ETE		Session 2016
Repère épreuve	Epreuve d'analyse d'un problème technique	Page 9 sur 29
Durée : 4heures		

Tournez la page S.V.P.

Travail demandé :

Etude de la centrale de traitement de l'air en hiver :

- 4.1 Elaborer le schéma de principe de la centrale de traitement de l'air.
- 4.2 Aux conditions hivernales, et en considérant l'efficacité de l'échangeur à plaques (DT10 page 23/29), tracer sur le diagramme de l'air humide (DR06 page 29/29) l'évolution de l'air neuf à travers l'échangeur à plaques et la batterie chaude à eau.
- 4.3 Calculer la puissance récupérée par l'air neuf lors de son passage dans l'échangeur à plaques.
- 4.4 Déterminer l'économie annuelle en kWh si la puissance récupérée par l'air neuf est de 20 kW dans les conditions nominales.
- 4.5 En se référant au document technique (DT11 page 23/29), déduire la masse de CO₂ annuelle évitée grâce à la récupération de chaleur par l'air neuf au passage dans l'échangeur à plaques.

Intervention de maintenance préventive :

- 4.6 Indiquer 4 tâches à effectuer lors d'une maintenance préventive d'une telle centrale de traitement d'air.

Concours externe CAPLP Génie civil option ETE		Session 2016
Repère épreuve	Epreuve d'analyse d'un problème technique	Page 10 sur 29
Durée : 4heures		