

SESSION DE 2008

**CA/PLP**

**CONCOURS EXTERNE ET CAFEP**

**Section : GENIE CIVIL**

**Option : EQUIPEMENTS TECHNIQUES ET ENERGIE**

**SCIENCES ET TECHNIQUES INDUSTRIELLES**

Durée : 6 heures

Calculatrice électronique de poche, y compris 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 : Hormis l'en-tête détachable, 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.**

Le travail proposé se fera à partir d'une étude effectuée sur un centre hospitalier en construction.

Toutes les parties du sujet sont indépendantes

Première partie : Combustion

Deuxième partie : Hydraulique

Troisième partie : Froid

Quatrième partie : climatisation

Cinquième partie : acoustique

Sixième partie : Analyse de l'eau

Septième partie : Echangeur ECS

Huitième partie : Bilan de charges

Durées estimatives des différentes parties

durée	1 <sup>ere</sup> Partie	2 <sup>eme</sup> Partie	3 <sup>eme</sup> Partie	4 <sup>eme</sup> Partie	5 <sup>eme</sup> Partie	6 <sup>eme</sup> Partie	7 <sup>eme</sup> Partie	8 <sup>eme</sup> Partie
6h00	45min	45min	30min	60 min	30 min	30 min	45 min	60 min

+ Lecture du sujet : 15 min

### **Présentation de l'étude : Nouveau Centre Médian Hospitalier**

Dans le cadre du redéploiement des services hospitaliers, des nouveaux bâtiments doivent être construits. Ces bâtiments regrouperont différents services : maternité, oncologie, chirurgie, laboratoires... L'ensemble comportera à terme plus d'une dizaine de bâtiments. Nous n'étudierons ici que le premier bâtiment, qui accueillera le service des urgences.

### **Présentation des caractéristiques techniques : Extraits du CCTP de l'installation (voir annexe : extraits CCTP)**

#### **Chaufferie**

La production de chaleur (de 450 kW) sera assurée par une cascade de trois générateurs gaz (dont un à condensation). Elle couvrira l'ensemble des besoins énergétiques du bâtiment, ainsi que les besoins spécifiques aux différents services (ECS).

#### **Circuits Utilisateurs**

Ils seront décomposés en circuits spécifiques pour les cuisines et pour les services hospitaliers. De nombreux départs seront placés en annexe, afin de subvenir aux futures extensions déjà planifiées. Le chauffage des zones pourra être réalisé par des circuits radiateurs ou des ventilo-convecteurs (façade arrière uniquement). Des réseaux alimenteront les batteries chaudes des différentes CTA : salles de cuisine, salles de réunion....

#### **Production frigorifique**

Elle sera assurée dans un premier temps par deux groupes identiques situés au rez-de-chaussée du bâtiment. Les groupes, de puissance 204 kW chacun, utiliseront le fluide R 407C comme fluide frigorigène. Ils alimenteront les batteries froides des réseaux ventilo-convecteurs et les batteries froides des CTA.

#### **Centrales de traitement d'air**

Elles seront placées sur la partie terrasse du bâtiment. Elles seront à débit d'air constant et comporteront des séquences de rafraîchissement gratuit (free-cooling). Les humidificateurs seront de type à vapeur, à production autonome.

### 1ere Partie : COMBUSTION

La production de chaleur est assurée par des chaudières gaz, alimentées par le réseau de gaz naturel. Le gaz disponible par le réseau est obtenu par un mélange des différents gaz disponibles. En fonction de ces intérêts le fournisseur peut être amené à changer légèrement les caractéristiques du gaz en fonction du type d'abonnement souscrit par le client. Il doit néanmoins assurer des caractéristiques minimales.

Les caractéristiques du gaz sont les suivantes

Gaz	Molécule	% volumique
Méthane	CH <sub>4</sub>	97
Ethane	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	2
Propane	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	0.3
Azote	N <sub>2</sub>	0.7

1.1) Ecrire les équations de combustion et les équilibrer.

1.2) Vérifier par le calcul que les grandeurs caractéristiques du gaz fourni, sont proches de celui de Lacq : Va, Vf<sub>0</sub> et Vf<sub>0</sub> dans les conditions de la combustion stochiométrique.

On suppose maintenant que le gaz fourni correspond au gaz de Lacq.

1.3) Calculer la valeur maximale de % (CO<sub>2</sub>+SO<sub>2</sub>) dans les fumées. Confirmer ces valeurs en utilisant le diagramme de combustion du gaz de Lacq (Document réponse 1 – page F).

Le constructeur du brûleur air soufflé préconise une combustion complète avec un excès d'air de 10% afin de parer à toute modification des paramètres de combustion.

1.4) Calculer les pourcentages de CO<sub>2</sub> et d'O<sub>2</sub> dans les fumées, vérifier ces valeurs à l'aide du diagramme de combustion du gaz de Lacq.

1.5) Calculer les pouvoirs calorifiques de ce gaz.

On rappelle :

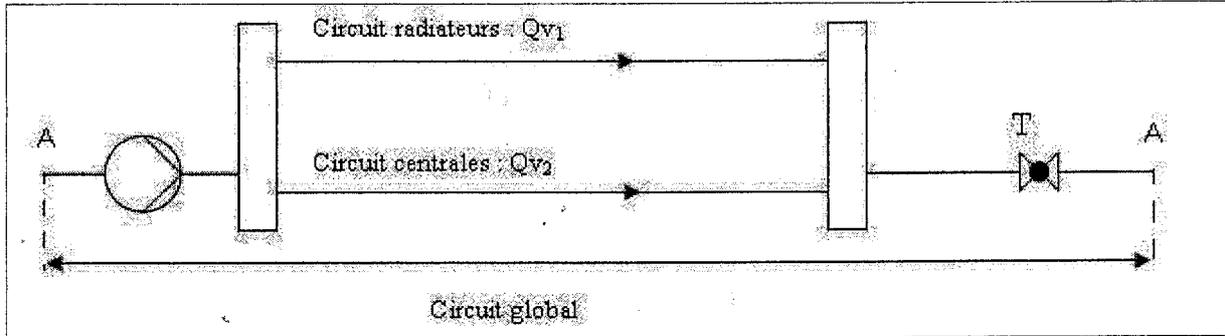
Produit formé	Δh : Energie dégagée en MJ/kmol
Dioxyde de carbone CO <sub>2</sub>	393,5
Eau H <sub>2</sub> O	241,8

On suppose que la composition de l'air est la suivante : 79% de N<sub>2</sub> et 21% de O<sub>2</sub>.

**2eme PARTIE : HYDRAULIQUE**

Cette partie concerne les deux circuits repérés « radiateurs » et « centrales » sur le schéma de principe de l'installation.

Il peut être schématisé de la façon suivante :



Caractéristiques des circuits

Circuit	Régime	Débit d'eau souhaité (m <sup>3</sup> /h)	Pertes de charge calculées pour les débits souhaités (kPa)
1 : Radiateur 1	80/60°C	1,200	20
2 : Centrales 2	80/60°C	0,800	38

On considère que les courbes de pertes de charge sont de la forme :  $\Delta p = a \cdot Q_v^2$ . On néglige les pertes de charge dans le tronçon commun (circuit très court).

La perte de charge du circuit global sera réglée à :  $\Delta p_{total} = 40$  kPa en agissant sur la vanne T.

**Approche théorique**

2.1) Déterminer par calcul, la répartition des débits dans les deux circuits si l'on néglige de réaliser l'équilibrage hydraulique ? Sur quel circuit doit-on placer une vanne d'équilibrage ? (voir dossier ressource hydraulique)

2.2) Déterminer par calcul les valeurs :

- $\Delta P_{circuit1(ou\ 2)}$  : perte de charge à ajouter sur le circuit (1 ou 2) ;
- $\Delta P_{vanne\ T}$  : perte de charge que doit créer la vanne T pour que le  $\Delta p_{total}$  du circuit soit de 40 kPa ;

**Vérification par l'outil graphique**

2.3) Les courbes des différents réseaux sont représentées :

- $\Delta P$  en bar en fonction de  $Q_v$  en m<sup>3</sup>/h (Document réponse 2 – page G)
- circuit 1 seul (avant équilibrage);
- circuit 2 seul (avant équilibrage);
- circuit 1 (ou 2) équilibré ;
- circuit 1 et 2 en parallèles (avant équilibrage) ;
- circuit 1 et 2 en parallèles et équilibrés ;
- circuit total : 1+2+ vanne T (après équilibrage) ;

Sur le document réponse :

- Identifier les courbes des différents réseaux correspondantes :  $C_1, C_2, C_{1e}$  (ou  $C_{2e}$ ),  $C_{1+2}, C_{(1+2)e}, C_{total}$  ;
- Déterminer graphiquement les valeurs :  $\Delta P_{circuit1(2)}, \Delta P_{vanne\ T}$  ;

### 3eme PARTIE : FROID

Le groupe frigorifique possède les caractéristiques suivantes :

Type de fluide	407C
Puissance frigorifique	204 kW
Pression lue sur le manomètre de l'évaporateur	4 bars effectifs
Température aspiration compresseur	10°C
Température refoulement compresseur	70°C
Compression	Considérée comme isentrope
Sous refroidissement (y compris ligne d'aspiration)	7 K
Nombre de Compresseurs	8
Caractéristiques électriques moteur d'un compresseur :	Triphasé, U=400V, $\cos\beta=0,84$ , I= 10,7A
Puissance électrique absorbée par les autres accessoires	20 kW

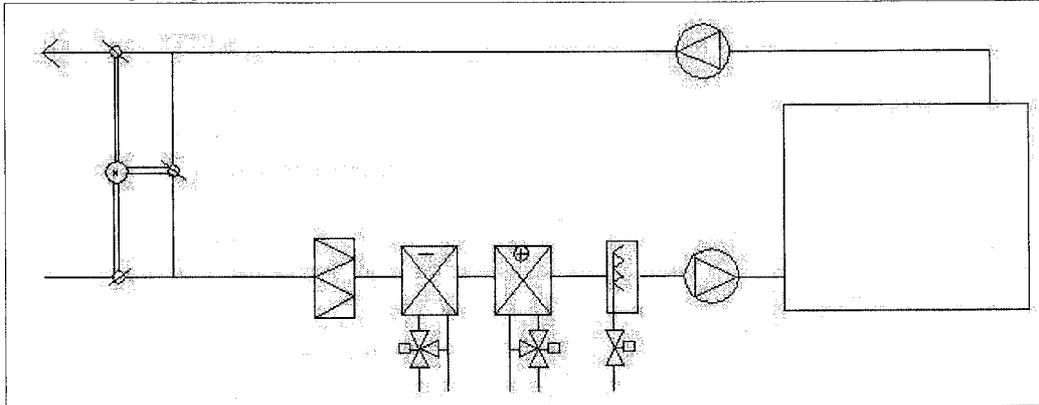
3.1) Déterminer les différents points caractéristiques du cycle réel de cette machine. Les caractéristiques (Température, pression, enthalpie) de chaque point seront présentées sous la forme d'un tableau. On repérera par l'indice 1, le point théorique de l'entrée du compresseur. Tracer le cycle en utilisant le document réponse 3 (page H). Quelle est la valeur totale de la surchauffe ?

3.2) Déterminer le débit massique ( en  $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$ ) du fluide frigorigène de cette installation, le rendement global des compresseurs, ainsi que le COP froid réel.

#### 4eme PARTIE : CLIMATISATION DE LA SALLE DE REUNION

Cette partie concerne une des centrales de traitement d'air dédiée à la grande salle de réunion située au rez-de-chaussée. Le système sera composé d'une centrale de traitement d'air à débit d'air constant qui fonctionnera en été et en hiver.

Schéma de principe de l'installation : CTA salle de réunion



On veut maintenir les conditions intérieures suivantes :

Conditions intérieures	Température sèche (°C)	Humidité relative (%)
ETE	25	50
HIVER	21	50

On donne :

Les conditions extérieures de base :

- en hiver :  $\theta_{ext} = -5^{\circ}\text{C}$ , hygrométrie relative = 80 %
- en été :  $\theta_{ext} = 31^{\circ}\text{C}$ , hygrométrie relative = 40 %

Les conditions intérieures :

Le calcul des charges en été a donné les résultats suivants :

- Apports sensibles : 4,2 kW
- Apports latents : 1,2 kW

Le calcul des charges en hiver a donné les résultats suivants :

- Apports sensibles : - 2,2 kW (déperditions)
- Apports latents : 1,2 kW

Caractéristiques techniques :

- Le type de bouches de soufflage n'a pas été déterminé.
- Le taux de brassage dans le local devra être égal à 6 vol/h.
- Le facteur de bipasse de la batterie froide est de 20 %.
- Volume de la salle de réunion :  $580 \text{ m}^3$
- L'humidificateur sera du type autonome à vapeur
- La quantité minimum d'air neuf :  $Q_{V_{AN}} = 1160 \text{ m}^3/\text{h}$
- La centrale est réglée par une cascade (ambiance/soufflage) en Température et en humidité relative.

On néglige l'échauffement de l'air dû aux ventilateurs :  $\theta_{ARC} = \theta_{ARP} = \theta_{INT}$

Pour tous les calculs qui suivront et par mesure de simplification : on considérera que le volume spécifique de l'air est de  $0,85 \text{ m}^3/\text{kg}_{as}$ .

#### Étude de la production de l'air soufflé en été

4.1) Déterminer le point de soufflage été, par la méthode de votre choix. En déduire le cycle type « été » de cette CTA, calculer et placer tous les points du cycle (document réponse 4 ou 4 bis).

**Tournez la page S.V.P.**

4.2) Déterminer le type de batterie froide à utiliser (à eau ou directe) et ses caractéristiques d'alimentation (régime d'eau glacée ou température d'évaporation). Déterminer la puissance de la batterie froide.

4.3) Faut-il prévoir une batterie chaude de réchauffage après la déshumidification ? Si oui, quelle doit être sa puissance ?

### Étude de la production de l'air soufflé en hiver

4.4) Déterminer les caractéristiques du point de soufflage en hiver si l'on conserve les débits massiques déterminés en été. En déduire le cycle type « hiver » de cette centrale, ainsi que les caractéristiques dimensionnelles des éléments en fonctionnement (document réponse 5 ou 5bis).

4.5) Si on régule cette CTA uniquement en fonction de la température (et non de l'humidité), quelle sera la dérive obtenue sur les conditions intérieures en été et en hiver ? Est-ce acceptable, sachant que la tolérance sur l'humidité relative est posée à  $\pm 10\%$  ?

### 5eme PARTIE : ACOUSTIQUE

Des mesures ont été réalisées sur le groupe froid. On considérera le groupe comme une source sonore évoluant dans un champ libre.

Les valeurs de la pression acoustique à 3 m de la source sont les suivantes :

Fréquence (en hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000
Niveau $N_p$ (en dB)	97	90	87.6	83.2	81	78.2	70

5.1) Déterminer le niveau ISO sonore de ce bruit à cet endroit. Déterminer le niveau global de ce bruit en dBA (voir dossier ressource acoustique).

On demande de respecter le niveau sonore ISO 30 (en niveau pression en dB) dans l'autre partie du bureau placé à coté du local technique. Il faudra donc placer un mur de séparation entre les deux locaux.

On considérera :

- que le mur de séparation est placé à 3 m du groupe ;
- que les transmissions indirectes sont négligeables ;
- que la paroi de séparation suit la loi de Berger (voir formulaire) ;

On ne tiendra pas compte de la baisse d'affaiblissement pour la fréquence critique.

5.2) Déterminer l'épaisseur minimale du mur constitué de parpaings (bétons)

**6eme PARTIE : DURETE DE L'EAU**

On a réalisé deux prélèvements de l'eau de ville sur cette installation à deux endroits différents de la chaufferie.  
Les résultats sont les suivants :

	Volume (litres)	Concentration $Ca^{2+}$ (mg/l)	Concentration $Mg^{2+}$ en (mg/l)
Echantillon 1	6	58	38
Echantillon 2	10	25	18

Rappel : Masses molaires :  $Ca = 40g/mol$  et  $Mg=24,3 g/mol$

6.1) Calculer les TH des deux solutions.

6.2) Calculer le titre moyen obtenu en mélangeant les deux prélèvements.

La quantité globale d'eau consommée par la chaufferie est de 50 litres.

6.3)-L'analyse de l'eau d'alimentation a finalement donné les résultats suivants :

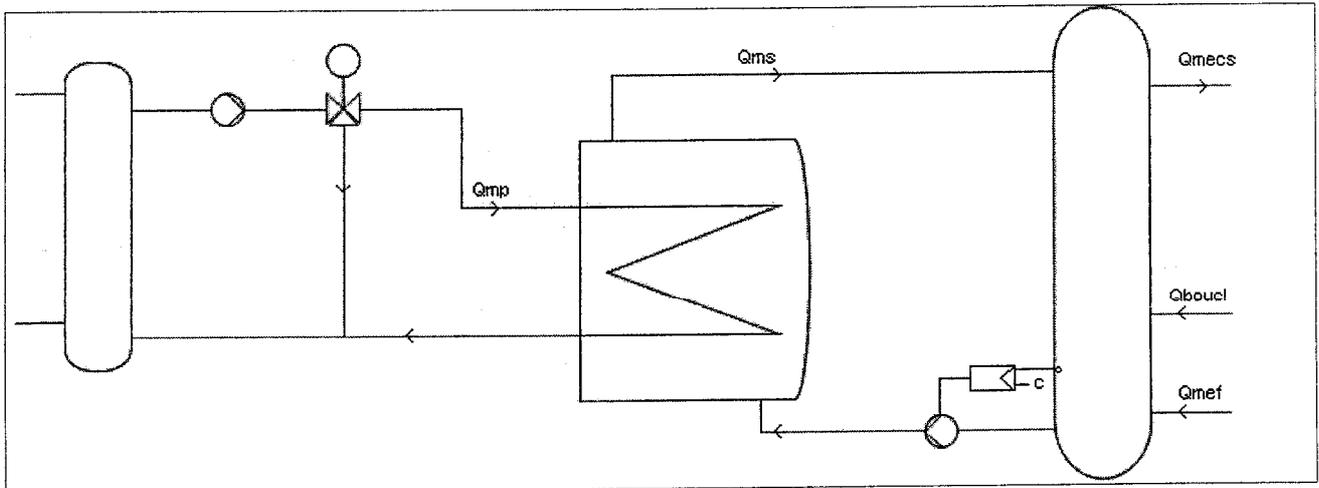
Titre global =  $19,8^{\circ}F$

Combien de litres d'eau doivent traverser l'adoucisseur, afin de ramener le titre de l'eau froide d'alimentation à  $5^{\circ}F$  ?

On considèrera que la dureté de l'eau traversant l'adoucisseur possède un titre de  $1^{\circ}F$ .

**7eme PARTIE : ECHANGEUR ECS**

On étudie la production d'eau chaude sanitaire de l'installation (voir schéma de principe)



On précise les éléments suivants :

- Le circuit secondaire circule coté calandre ;
- la température de l'ECS en sortie de l'échangeur et sur le départ de la boucle sanitaire est fixée à  $55^{\circ}C$  ;
- la température d'enclenchement de la pompe du circuit secondaire de l'échangeur est fixée à  $40^{\circ}C$  en partie basse de la bouteille ;
- Le débit maximum de puisage d'ECS est estimé à  $920 l/h$  ;
- Régime primaire échangeur:  $80^{\circ}C/60^{\circ}C$  ;
- Température eau froide sanitaire :  $T_{EF} = 10^{\circ}C$  ;

7.1) Dans un premier temps, on considère l'échangeur comme étant à contre-courant pur (pas de facteur de correction). Déterminer les puissances et les différents débits d'eau mis en jeu pour sélectionner cet échangeur. Déterminer la surface d'échange  $S$  de cet échangeur à l'aide de la méthode du DTLM, son coefficient d'échange étant de  $K_g = 0,8 kW.m^{-2}.K^{-1}$ . (voir document réponse N6)

**Tournez la page S.V.P.**

7.2) Un constructeur propose l'échangeur à tube et calandre ayant les caractéristiques suivantes :

- 1 passe coté calandre, 2 passes coté tubes ;
- $K_g = 0,75 \text{ kW.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$  ;
- $S = 3 \text{ m}^2$  ;

Répondra-t-il aux exigences demandées ?

7.3) On sélectionne l'échangeur suivant :

- courant croisé sans brassage des fluides ;
- $S = 6 \text{ m}^2$  ;
- $K_g = 0,8 \text{ kW.m}^{-2}.\text{K}^{-1}$  échangeur propre ;

Montrer que malgré un encrassement de 1 mm de chaque coté des plaques ( $\lambda_{\text{encrassement}} = 2,2 \text{ W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$ ) l'échangeur aura la puissance voulue. Déterminer alors la température maximale de l'eau chaude sanitaire.

### 8eme PARTIE : BILAN DES CHARGES ETE

On s'intéresse maintenant à la partie hall de réception des patients.

Cette partie doit être rafraîchie par un système de ventilo-convecteurs fonctionnant en tout air repris. Elle sera ventilée par une VMC simple flux en extraction. L'arrivée d'air neuf sera assurée par des réglettes placées sur les menuiseries.

On précise les éléments suivants :

Bilan des charges du local	
Conditions extérieures	Juillet : $T_{\text{ext}} = 31^\circ\text{C}$ $\phi_{\text{EXT}} = 40\%$
Volume du local	$1720 \text{ m}^3$
Conditions intérieures (désirées)	$T_{\text{int}} = 25^\circ\text{C}$ $\phi_{\text{int}} = 50\%$
Nb occupants	10
Apports latents par occupant	120 g d'eau/h
Apports totaux enthalpiques par occupant	$h_L = 160 \text{ W}$
Renouvellement d'air	1 vol/h
Apports par l'éclairage	2000 W
Apports par les appareils	500 W
Apports par le soleil et les parois	12 000 W
Température de surface de batterie froide : $\theta_{\text{SBF}}$	$9^\circ\text{C}$
Efficacité des batteries froides	80%
Débit d'air de chaque ventilo-convecteur	$1600 \text{ m}^3/\text{h}$
Nombre d'appareils installés dans le hall	4

On rappelle :  $L_V = 2500 \text{ kJ.kg}^{-1}$ .

Pour tous les calculs on prendra  $\rho_{\text{air}} = 1,19 \text{ kg.as.m}^{-3}$

8.1) Calculer les charges latentes et totales de ce local (hors renouvellement d'air).

8.2) En vous aidant du schéma fourni en document ressource, réaliser un croquis représentant les charges mises en jeu dans ce local, ainsi que toutes les données nécessaires à l'écriture des équations (voir document ressource bilan d'un local).

8.3) À partir bilan, établir les équations mathématiques permettant de déterminer  $h_{\text{int}}$  et  $r_{\text{int}}$  à l'équilibre.

8.4) Déterminer le point intérieur obtenu. Qu'en pensez-vous ?



### Document ressource hydraulique

Association de réseaux hydrauliques en série et en parallèle.

Si on considère que les courbes de pertes de charge sont de la forme :  $\Delta p = a \cdot Q_v^2$ .

Soit deux réseaux 1 et 2, dont les courbes caractéristiques sont :

- $\Delta p_1 = a_1 \cdot Q_v^2$ ;
- $\Delta p_2 = a_2 \cdot Q_v^2$ ;

L'association des deux réseaux en série donnera, un réseau hydraulique équivalent de caractéristique :

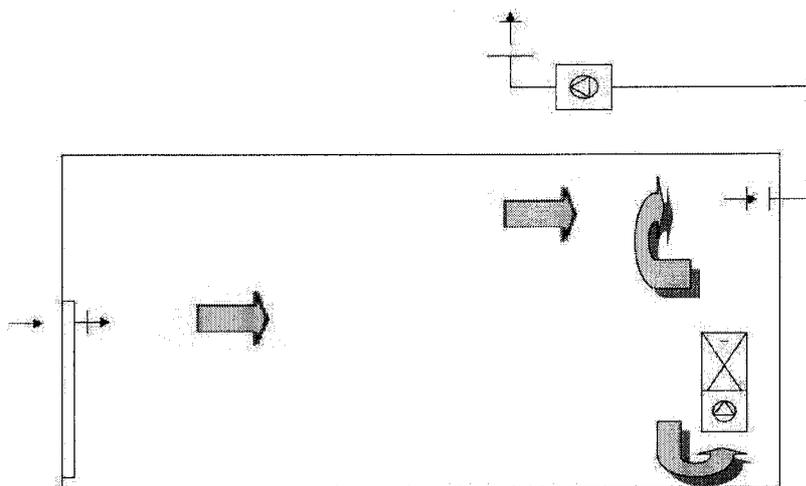
$$\Delta p_{\text{série}} = \Delta p_1 + \Delta p_2 \rightarrow a_{\text{série}} = a_1 + a_2$$

L'association des deux réseaux en parallèle donnera un réseau hydraulique équivalent de caractéristique :

$$\frac{1}{\sqrt{a_{//}}} = \frac{1}{\sqrt{a_1}} + \frac{1}{\sqrt{a_2}} \rightarrow a_{//} = \left( \frac{1}{\frac{1}{\sqrt{a_1}} + \frac{1}{\sqrt{a_2}}} \right)^2$$

### Document ressource : bilan thermique d'un local en régime permanent établi (ERP)

A l'équilibre thermique les conditions intérieures obtenues ( $T_{\text{int}}$ ,  $\phi_{\text{int}}$ ) permettent d'équilibrer le bilan hydrique et le bilan enthalpique.



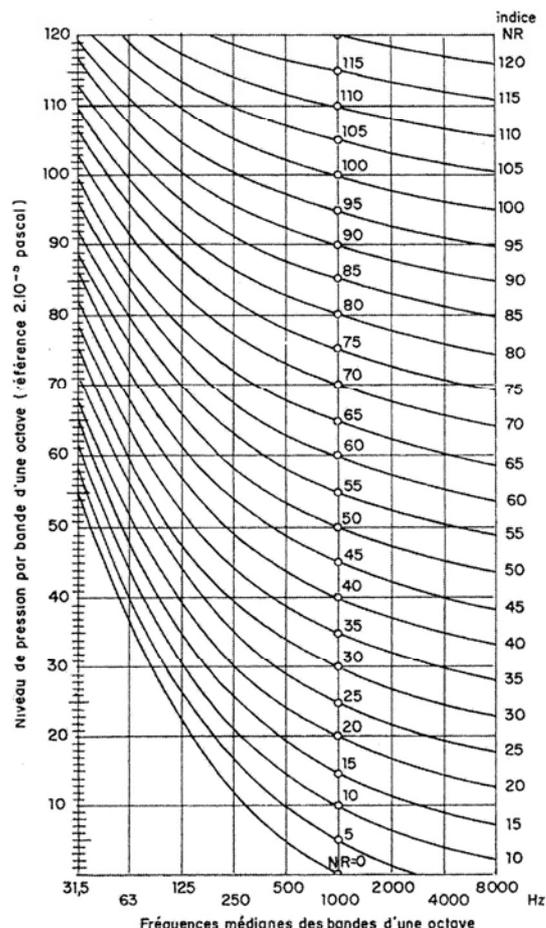
Document ressource Acoustique

Courbes de critères ISO (en dB)

Le critère ISO correspond à la fréquence 1 000 Hz.

Fréquence en Hz						
63	125	250	600	1 000	2 000	4 000
35,5	22,0	12,0	4,8	0	- 3,5	- 6,1
39,4	26,3	16,6	9,7	5	+ 1,6	- 1,0
43,4	30,7	21,3	14,5	10	6,6	4,2
47,3	35,0	25,9	19,4	15	11,7	9,3
51,3	39,4	30,6	24,3	20	16,8	14,4
55,2	43,7	35,2	29,2	25	21,9	19,5
59,2	48,1	39,9	34,0	30	26,9	24,7
63,1	52,4	44,5	38,9	35	32,0	28,9
67,1	56,8	49,2	43,8	40	37,1	34,9
71,0	61,1	53,6	48,6	45	42,2	40,0
75,0	65,5	58,5	53,5	50	47,2	45,2
78,9	69,8	63,1	58,4	55	52,3	50,3
82,9	74,2	67,8	63,2	60	57,4	55,4
86,8	78,5	72,4	68,1	65	62,5	60,5
90,8	82,9	77,1	73,0	70	67,5	65,7
94,7	87,2	81,7	77,9	75	72,6	70,8
98,7	91,6	86,4	82,7	80	77,7	75,9
102,6	95,9	91,0	87,6	85	82,8	81,0
106,6	100,3	95,7	92,5	90	87,8	86,2
110,5	104,6	100,3	97,3	95	92,9	91,3
114,5	109,0	105,0	102,2	100	98,0	96,4
118,4	113,3	109,6	107,1	105	103,1	101,5
122,4	117,7	114,3	111,9	110	108,1	106,7
126,3	122,0	118,9	116,8	115	113,2	111,8
130,3	126,4	123,6	121,7	120	118,3	116,9
134,2	130,7	128,2	126,6	125	123,4	122,0
138,2	135,1	132,9	131,4	130	128,4	127,2

Critère ISO



Pondération A

f	63	125	250	500	1 000	2 000	4 000	8 000
pondération A	- 26	- 16	- 8,6	- 3,2	0	+ 1,2	+ 1	+ 1,1

Exemple d'addition de niveau en dB : addition de niveau d'intensité

Le niveau d'intensité résultant est donc :

$$N_R = 10 \lg \left[ \frac{I_R}{10^{-12}} \right]$$

Niveau d'intensité acoustique dû à n sources en dB

$$N_R = 10 \lg \left[ \sum_{i=1}^n 10^{\frac{N_i}{10}} \right]$$

Niveau d'intensité acoustique de la source j en dB

Calcul de l'isolement d'une paroi

R= N<sub>P1</sub> - N<sub>P2</sub> niveau de pression de chaque coté de la paroi.

On pourra différencier l'isolement d'une paroi résultant d'une mesure ou l'isolement prévisionnel d'une paroi résultant d'un calcul.

R = indice d'affaiblissement acoustique en dB

$$R = 20 \lg (f.m) - 48 ; \text{ loi de Berger}$$

f = fréquence en Hz

m = masse surfacique de la paroi de séparation en kg/m<sup>2</sup>

Matériau	Masse volumique	Fréquence critique x épaisseur
Acier	7 800 en kg/m <sup>3</sup>	1 000 Hz · cm
Aluminium	2 700 en kg/m <sup>3</sup>	1 300 Hz · cm
Béton	2 400 en kg/m <sup>3</sup>	1 800 Hz · cm
Bois	600 en kg/m <sup>3</sup>	12 000 Hz · cm
Briques pleines	2 250 en kg/m <sup>3</sup>	3 500 Hz · cm
Caoutchouc	1 100 en kg/m <sup>3</sup>	35 000 Hz · cm
Parpaings (béton)	2 000 en kg/m <sup>3</sup>	2 700 Hz · cm
Plâtre	1 000 en kg/m <sup>3</sup>	4 000 Hz · cm
Polystyrène expansé	14 en kg/m <sup>3</sup>	14 000 Hz · cm
Liège	250 en kg/m <sup>3</sup>	18 000 Hz · cm
Verre	2 500 en kg/m <sup>3</sup>	1 200 Hz · cm

L'indice d'affaiblissement acoustique d'une paroi augmente avec la fréquence et avec la masse de la paroi. Il existe cependant une fréquence critique pour laquelle la paroi est moins isolante.

**MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE**

Académie : \_\_\_\_\_ Session : \_\_\_\_\_

Concours : \_\_\_\_\_

Spécialité/option : \_\_\_\_\_ Repère de l'épreuve : \_\_\_\_\_

Intitulé de l'épreuve : \_\_\_\_\_

NOM : \_\_\_\_\_

(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)

Prénoms : \_\_\_\_\_ N° du candidat  

(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

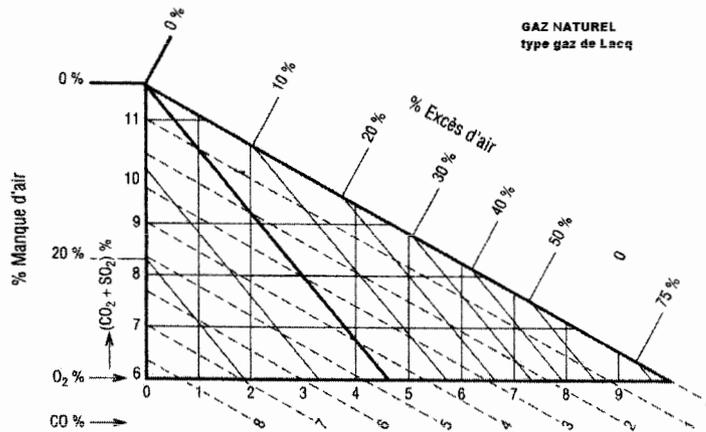
FE1-8.3

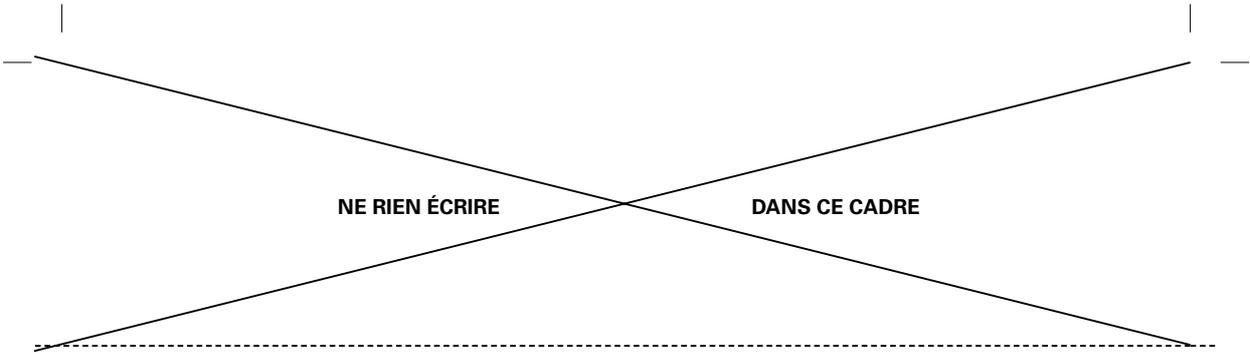
**Document réponse 1 : Partie combustion**

Nature du gaz		Air théorique	Pouvoir fumigène		(CO <sub>2</sub> + SO <sub>2</sub> ) total	H <sub>2</sub> O total		(CO <sub>2</sub> + SO <sub>2</sub> ) max.	Composition volumétrique des produits de combustion humides			
			Humide	Sec		V <sub>H<sub>2</sub>O</sub>	V <sub>H<sub>2</sub>O</sub>		(CO <sub>2</sub> + SO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> %	CO <sub>2</sub> + SO <sub>2</sub> %	H <sub>2</sub> O %	N <sub>2</sub> %
		V <sub>a</sub>	V <sub>h</sub>	V <sub>s</sub>	V <sub>CO<sub>2</sub></sub>	V <sub>H<sub>2</sub>O</sub>	V <sub>H<sub>2</sub>O</sub>	(CO <sub>2</sub> + SO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> %	CO <sub>2</sub> + SO <sub>2</sub> %	H <sub>2</sub> O %	N <sub>2</sub> %	
		m <sup>3</sup> N / m <sup>3</sup> gaz	m <sup>3</sup> N / m <sup>3</sup> gaz	kg / m <sup>3</sup> gaz	% V <sub>CO<sub>2</sub></sub>	% V <sub>CO<sub>2</sub></sub>	% V <sub>H<sub>2</sub>O</sub>	% V <sub>N<sub>2</sub></sub>				
Gaz naturels	Skikda	9,7	10,7	8,7	1,04	2,00	1,81	11,9	9,7	18,6	71,7	
	Arzew	10,7	11,7	9,6	1,16	2,16	1,73	12,1	9,9	18,4	71,7	
	Gasunie	9,4	10,4	8,5	1,02	1,93	1,55	12,0	9,8	18,5	71,7	
	Lacq	9,7	10,7	8,7	1,02	2,02	1,62	11,8	9,6	18,9	71,5	
	Ekofisk	10,6	11,6	9,5	1,17	2,13	1,71	12,3	10,0	18,3	71,7	
	Groningue	8,4	9,4	7,7	0,90	1,74	1,40	11,7	9,6	18,5	71,9	
Gaz de pétrole et leurs mélanges avec l'air	Propane commercial	23,25	25,09	21,40	2,99	3,69	2,985	14,0	12,0	14,7	73,3	
	Butane commercial	29,35	31,75	27,13	3,88	4,63	3,72	14,3	12,2	14,6	73,2	
	Air propane 7,5	5,66	6,90	5,89	0,82	1,01	0,812	14,0	12,0	14,7	73,3	
	Air propane 15,6	12,81	14,30	12,20	1,71	2,10	1,89	14,0	12,0	14,7	73,3	
	Air butane 7,3	5,00	6,32	5,40	0,77	0,92	0,74	14,3	12,2	14,6	73,2	
Gaz manufacturés	de cokerie	5,6	4,34	5,03	3,96	0,44	1,07	0,86	11,1	8,7	21,6	69,5
	de craquage	5,2	4,265	5,05	3,965	0,47	1,055	0,848	11,7	9,3	20,9	69,8

V<sub>a</sub> = pouvoir comburifère en volume  
 V<sub>h</sub> = pouvoir fumigène humide en volume  
 V<sub>s</sub> = pouvoir fumigène sec en volume  
 V<sub>(CO<sub>2</sub> + SO<sub>2</sub>)</sub> = volume de CO<sub>2</sub> + SO<sub>2</sub> dans les fumées sèches

V<sub>H<sub>2</sub>O</sub> = volume de vapeur d'eau  
 (CO<sub>2</sub> + SO<sub>2</sub>) % = pourcentage de (CO<sub>2</sub> + SO<sub>2</sub>) dans les fumées sèches  
 H<sub>2</sub>O % = pourcentage de vapeur d'eau  
 N<sub>2</sub> % = pourcentage d'azote





**NE RIEN ÉCRIRE**

**DANS CE CADRE**

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE

Académie : \_\_\_\_\_ Session : \_\_\_\_\_

Concours : \_\_\_\_\_

Spécialité/option : \_\_\_\_\_ Repère de l'épreuve : \_\_\_\_\_

Intitulé de l'épreuve : \_\_\_\_\_

NOM : \_\_\_\_\_

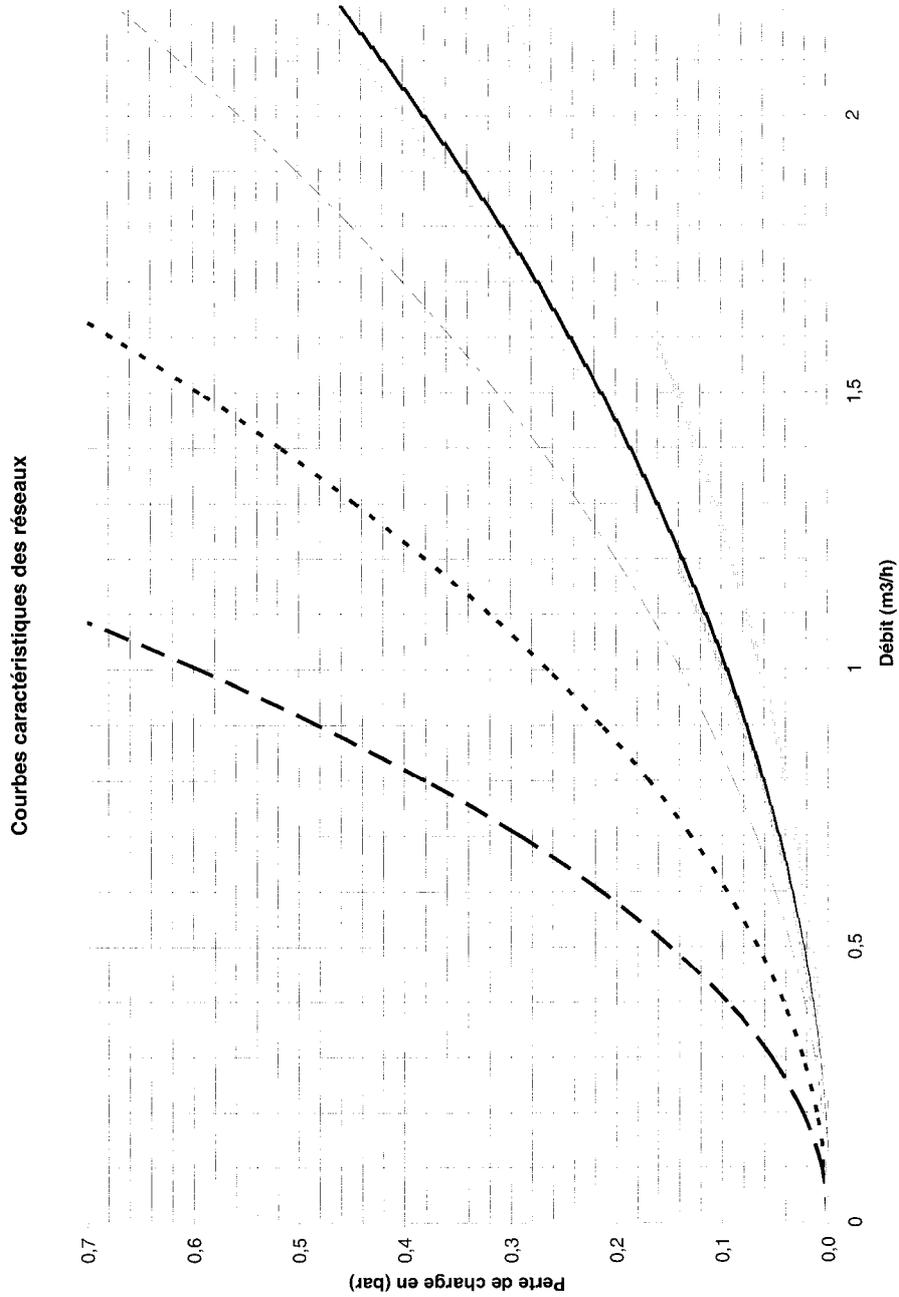
(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)

Prénoms : \_\_\_\_\_ N° du candidat

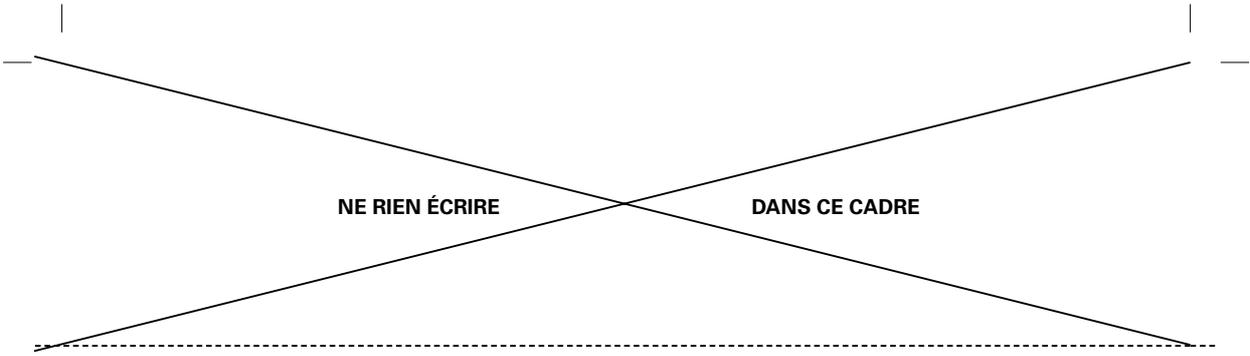
(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

FE1-8.3

Document réponse 2 : Partie hydraulique



Ⓒ



**NE RIEN ÉCRIRE**

**DANS CE CADRE**

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE

Académie : \_\_\_\_\_ Session : \_\_\_\_\_

Concours : \_\_\_\_\_

Spécialité/option : \_\_\_\_\_ Repère de l'épreuve : \_\_\_\_\_

Intitulé de l'épreuve : \_\_\_\_\_

NOM : \_\_\_\_\_

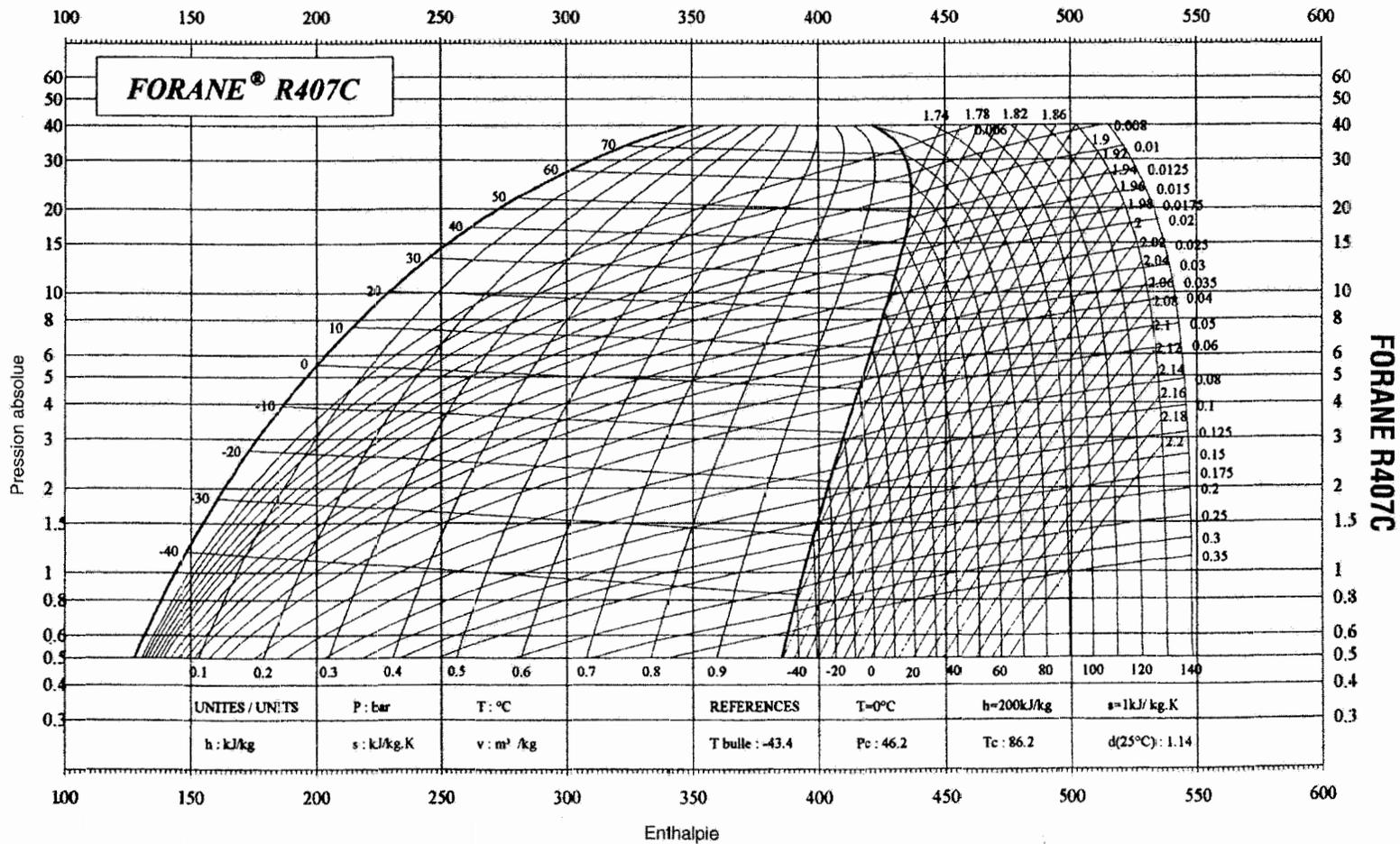
(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)

Prénoms : \_\_\_\_\_ N° du candidat

(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

FE1-8.3

Document réponse 3 : Diagramme Enthalpique R407C



NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE

Académie : \_\_\_\_\_ Session : \_\_\_\_\_

Concours : \_\_\_\_\_

Spécialité/option : \_\_\_\_\_ Repère de l'épreuve : \_\_\_\_\_

Intitulé de l'épreuve : \_\_\_\_\_

NOM : \_\_\_\_\_

(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)  
Prénoms : \_\_\_\_\_

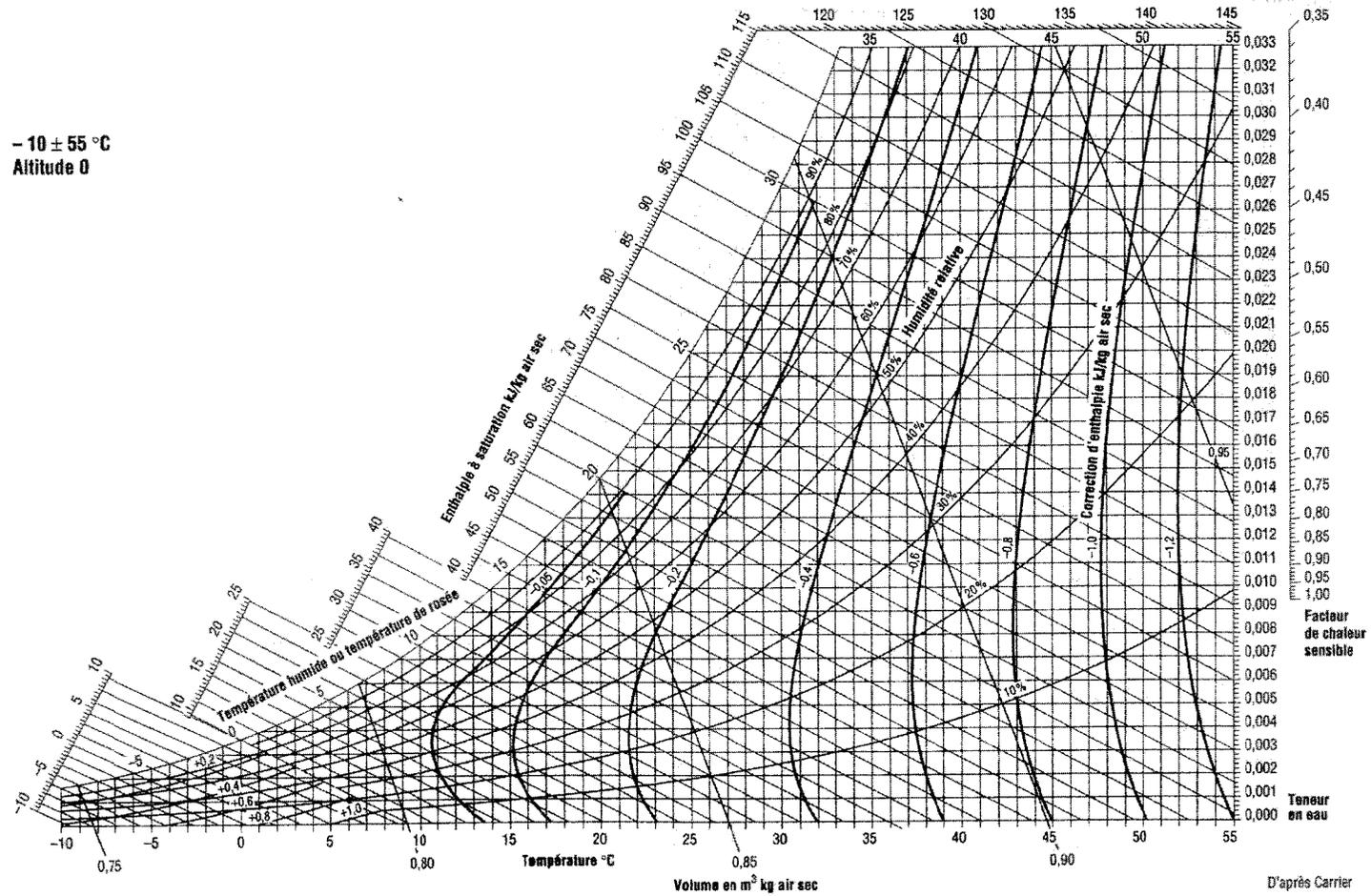
N° du candidat

(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

FE1-8.3

Document réponse 4 : Diagramme de l'air humide : cas ETE

-10 ± 55 °C  
Altitude 0



D'après Carrier

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE

Académie : \_\_\_\_\_ Session : \_\_\_\_\_

Concours : \_\_\_\_\_

Spécialité/option : \_\_\_\_\_ Repère de l'épreuve : \_\_\_\_\_

Intitulé de l'épreuve : \_\_\_\_\_

NOM : \_\_\_\_\_

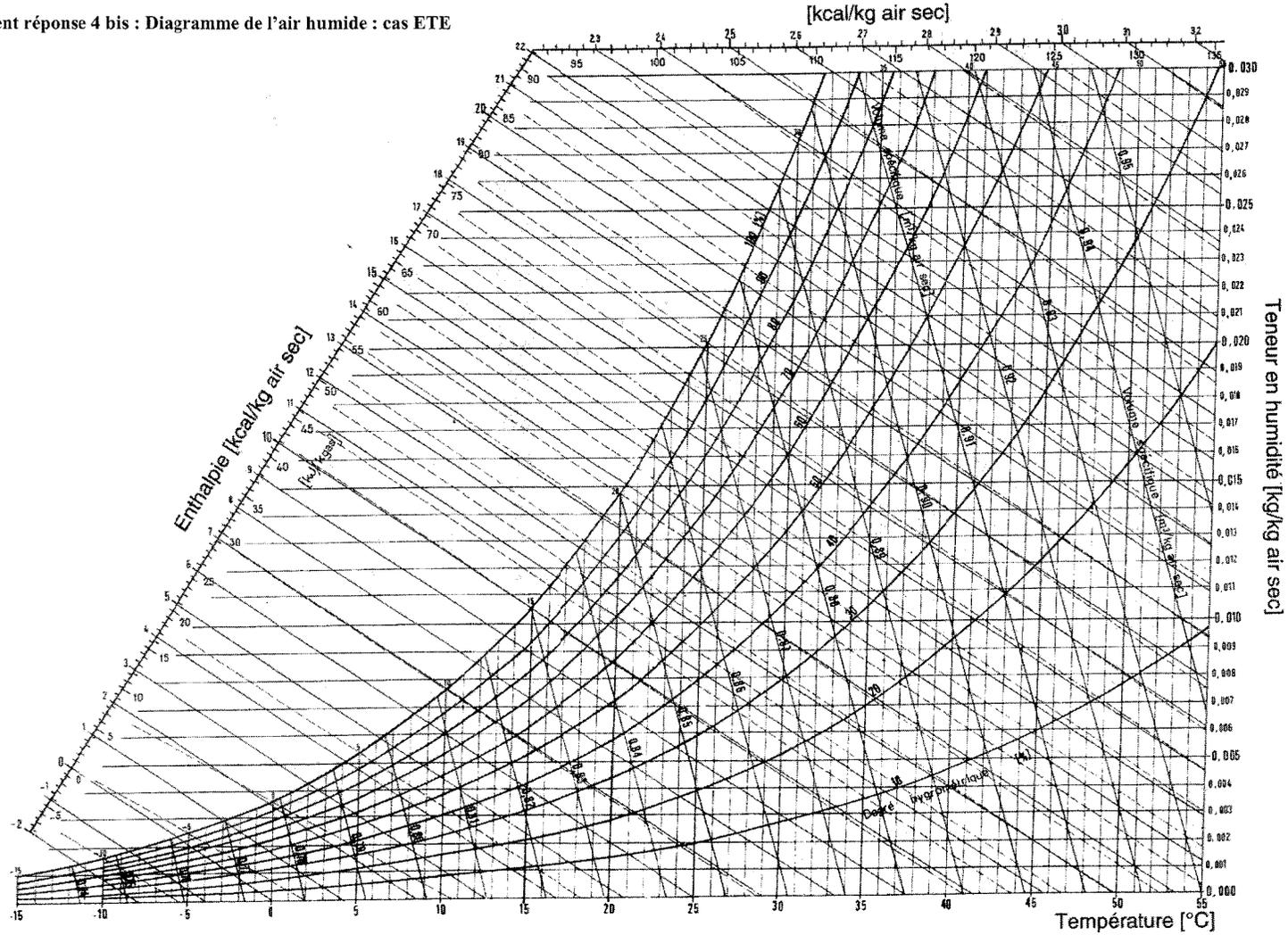
(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)  
Prénoms : \_\_\_\_\_

N° du candidat

(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

FE1-8.3

Document réponse 4 bis : Diagramme de l'air humide : cas ETE



NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE

Académie : \_\_\_\_\_ Session : \_\_\_\_\_

Concours : \_\_\_\_\_

Spécialité/option : \_\_\_\_\_ Repère de l'épreuve : \_\_\_\_\_

Intitulé de l'épreuve : \_\_\_\_\_

NOM : \_\_\_\_\_

(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)  
Prénoms : \_\_\_\_\_

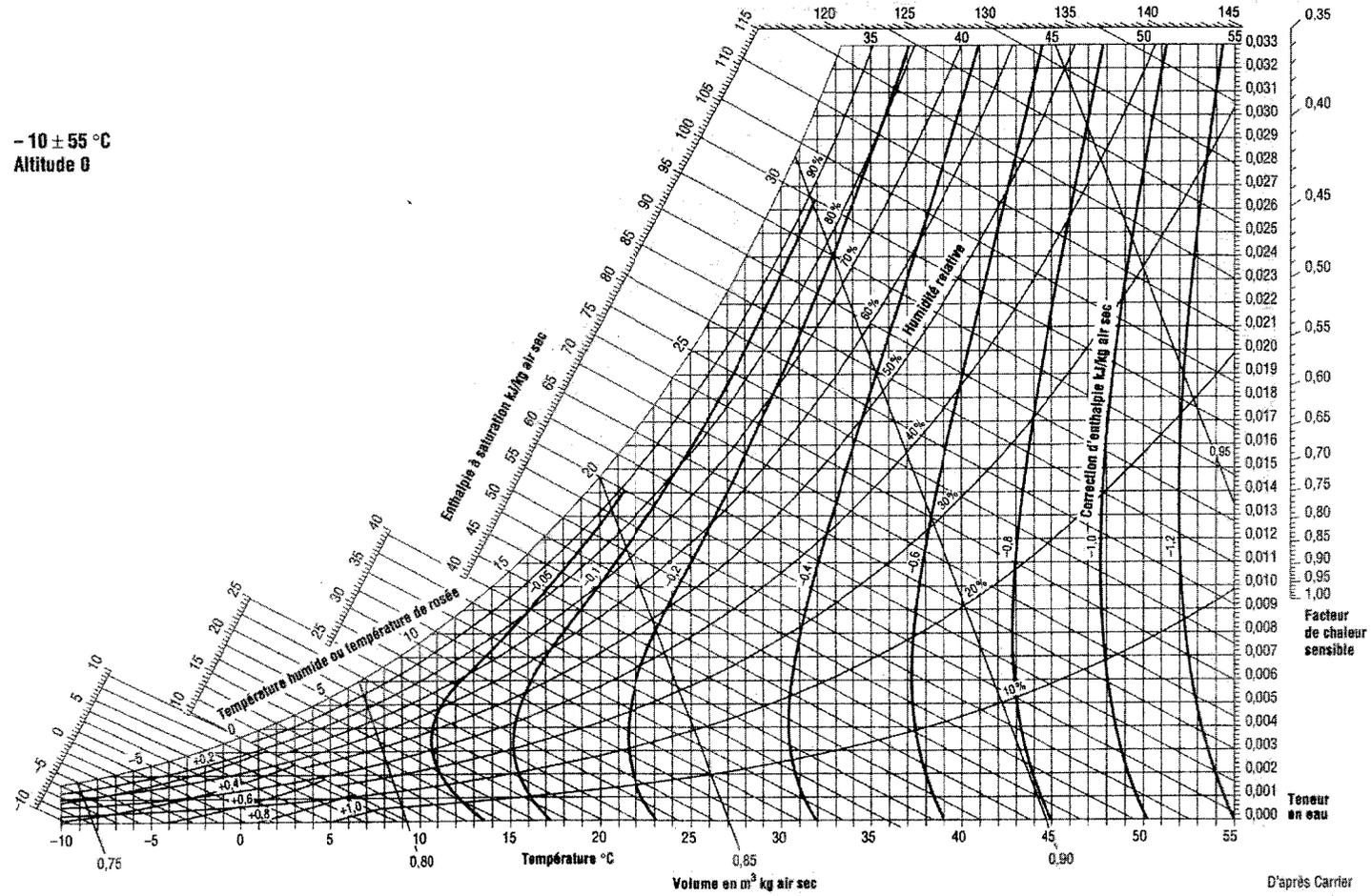
N° du candidat

(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

FE1-8.3

Document réponse 5 : Diagramme de l'air humide : cas HIVER

-10 ± 55 °C  
Altitude 0



D'après Carrier

(K)

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE DANS CE CADRE

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE

Académie : \_\_\_\_\_ Session : \_\_\_\_\_

Concours : \_\_\_\_\_

Spécialité/option : \_\_\_\_\_ Repère de l'épreuve : \_\_\_\_\_

Intitulé de l'épreuve : \_\_\_\_\_

NOM : \_\_\_\_\_

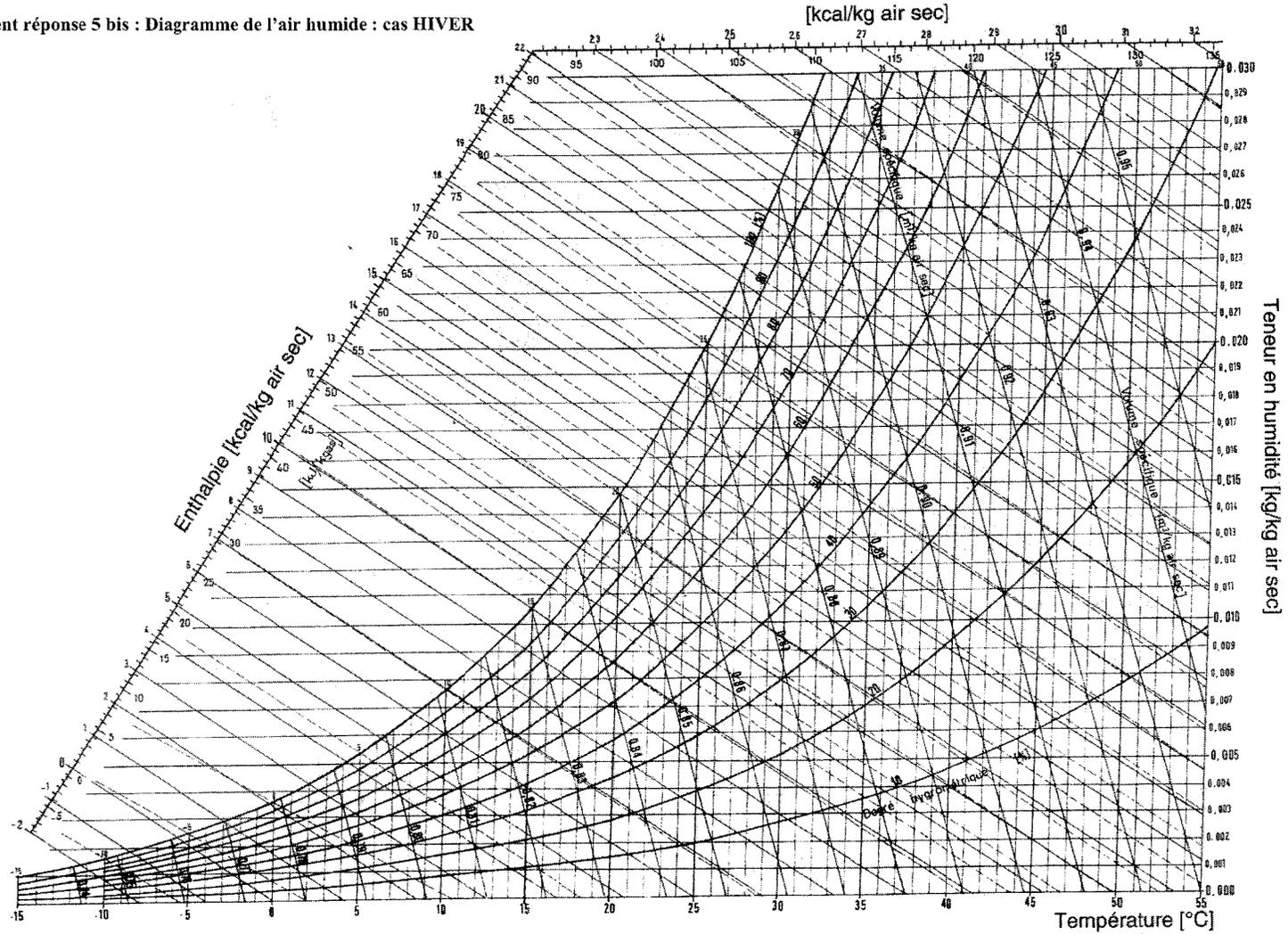
(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)  
Prénoms : \_\_\_\_\_

N° du candidat

(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

FE1-8.3

Document réponse 5 bis : Diagramme de l'air humide : cas HIVER



NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

MINISTÈRE DE L'ÉDUCATION NATIONALE

Académie : \_\_\_\_\_ Session : \_\_\_\_\_

Concours : \_\_\_\_\_

Spécialité/option : \_\_\_\_\_ Repère de l'épreuve : \_\_\_\_\_

Intitulé de l'épreuve : \_\_\_\_\_

NOM : \_\_\_\_\_

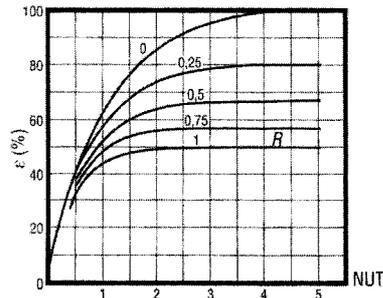
(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)

Prénoms : \_\_\_\_\_ N° du candidat \_\_\_\_\_

(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

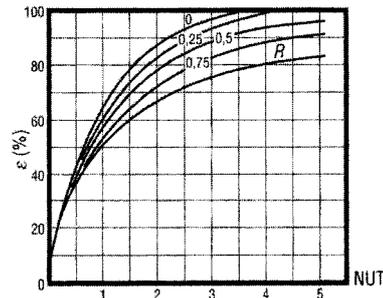
FE1-8.3

**Document réponse 6 : Abaques dimensionnement des échangeurs**  
**Méthode du NUT : Valeur de l'efficacité**



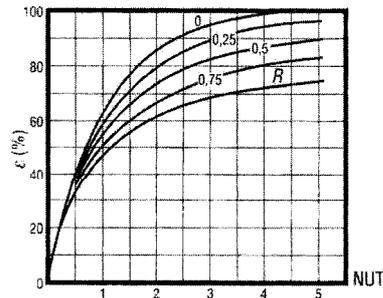
$$\epsilon = \frac{1 - \exp[-NUT(1+R)]}{1+R}$$

ε : efficacité pour un échangeur à **courants parallèles**.

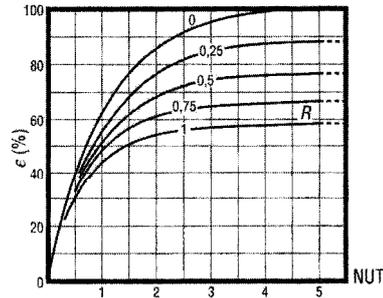


$$\epsilon = \frac{1 - \exp[-NUT(1-R)]}{1-R \exp[-NUT(1-R)]}$$

ε : efficacité pour un échangeur à **contre-courant**.



ε : efficacité pour un échangeur à **courants croisés** (pas de fluides brassés).



ε : efficacité pour un échangeur à **tubes et calandre** (1 passe côté calandre et 2 passes, ou un multiple de 2 passes côté tubes).

**Méthode de « DTLM » : Valeurs du facteur de correction f**

Facteur de correction tenant compte de la véritable configuration des écoulements. Ce facteur *f* est donné par des abaques sur l'axe des ordonnées en fonction des deux paramètres d'entrée suivants :

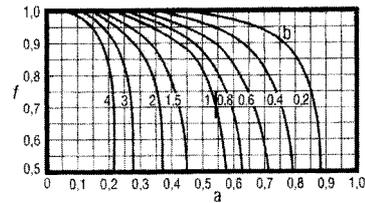
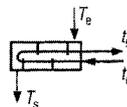
$$a = \frac{t_s - t_e}{T_e - T_e} \quad \text{et} \quad b = \frac{T_e - T_s}{t_s - t_e} = \frac{(q_m \cdot c)_t}{(q_m \cdot c)_T}$$

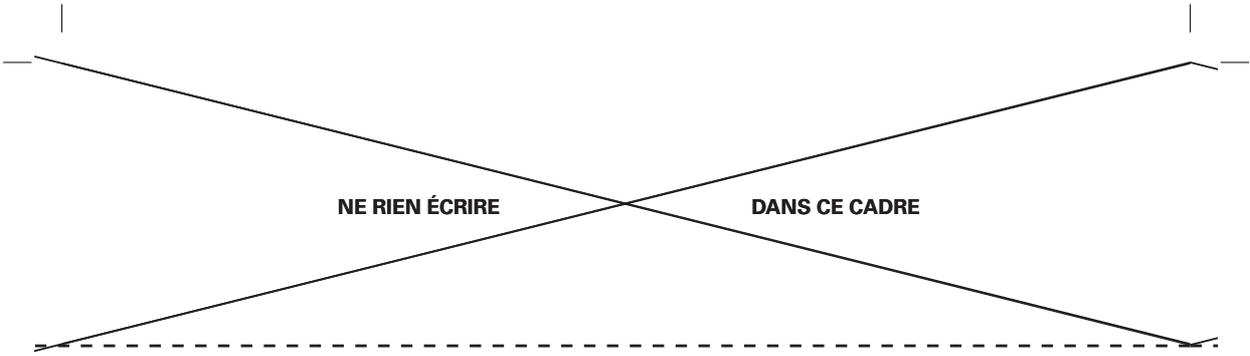
(Axe des abscisses)

(Courbes)

*t* et *T* : températures des deux fluides selon le schéma donné avec chaque abaque.

*f* = facteur de correction pour un échangeur à **tubes et calandre** (1 passe côté calandre et 2 passes, ou un multiple de 2 passes côté tubes).





**NE RIEN ÉCRIRE**

**DANS CE CADRE**