

SESSION 2011

CAPLP
CONCOURS EXTERNE

Section : GÉNIE CIVIL
Option : ÉQUIPEMENTS TECHNIQUES - ÉNERGIE

ÉCRIT 1
ÉPREUVE DE SYNTHÈSE

Durée : 5 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 : 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.

▪ Constitution du sujet

Présentation du site p 3

Questions à traiter p 4 à 13

Documents techniques et ressources :

DT1 : Caractéristiques du capteur p 14

DT2 : Formulaire solaire p 15

DT3 : Préfiltre pour pompes p 16

DT4 : Description du récupérateur de chaleur p 17

Documents réponses :

DR1 : Calcul des puissances solaires p 18

DR2 : Position du soleil – Tracé du masque p 19

DR3 : Diagramme de l'air humide (format A4) p 20

DR4 : Points caractéristiques du cycle frigorifique p 21

DR5 : Températures des fluides dans les échangeurs p 22

DR6 : Graphe de régulation de niveau dans la bache tampon p 23

DR7 : Documentation de la pompe p 24

DR8 : Abaque de perte de charge du PVC pression p 25

DR9 : Efficacité du récupérateur de chaleur p 26

DR10 : Autres caractéristiques du récupérateur de chaleur p 27

DR11 : Points caractéristiques du traitement de l'air p 28

DR12 : Diagramme enthalpique du R407C p 29

DR13 : Diagramme de l'air humide (format A3) p 30

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.

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

▪ Présentation du site

Vous êtes chargé de l'étude des équipements techniques d'un centre aquatique moderne et particulièrement performant, qui comprend pour la partie activités : un bassin ludique avec une boule à vagues, une lagune pour la petite enfance, un bassin sportif de 25 x 21 mètres, divisé en 8 couloirs de nage, un espace de plongée subaquatique avec deux fosses de 6 et 20 mètres de profondeur...

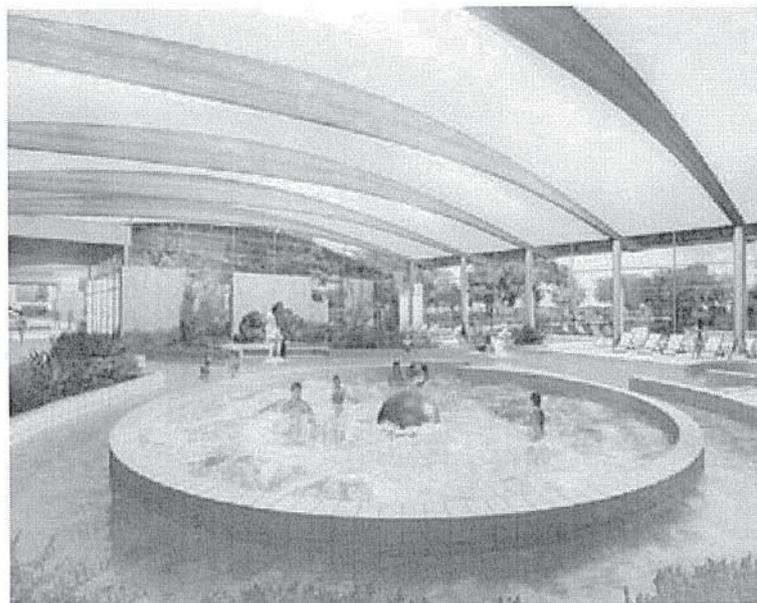
Côté détente, il propose : une plage extérieure, un hammam, un sauna, un bain froid, mais aussi une salle de remise en forme, un espace de restauration et une galerie commerciale.



La conception générale du centre nautique s'inscrit dans la démarche Haute Qualité Environnementale - développement durable appliquée à la construction de bâtiments -, et respecte à la fois l'environnement et la sécurité.

Le maître d'œuvre s'est ainsi donné quatre objectifs impératifs :

- créer un environnement intérieur sain et confortable pour les utilisateurs,
- maîtriser l'impact de la construction sur l'environnement,
- préserver les ressources naturelles en optimisant leur usage
- réduire les consommations d'énergie et émissions de CO₂.



Partie 1 : Production de chaleur solaire

On envisage l'installation de panneaux solaires thermiques sur la toiture de la piscine, dans le but de produire l'eau chaude sanitaire ou de chauffer l'eau des bassins.

L'inclinaison et l'orientation des capteurs étant imposées par la toiture, il reste à prévoir les performances et à déterminer le nombre de panneaux à mettre en œuvre.

Données :

- Positions des capteurs :
 - Orientation : Sud - Sud/Ouest
 - Inclinaison (par rapport à l'horizontale) : 30°
 - Hauteur moyenne (par rapport au sol) : 10 m
- Caractéristiques du capteur solaire Weishaupt WTS-F1 K4 (voir DT 1)
- Puissance nécessaire au préchauffage de l'ECS 80 kW.
- Température extérieure : 30 °C
- Régime de températures du circuit solaire : 80 / 60 °C
- Propriétés du mélange antigel (Eau + 30 % MPG) :
 - Chaleur massique = 4,00 kJ/kg.K
 - Masse volumique = 1000 kg/m³

Travail demandé :

1.1. Rendement du panneau solaire

A partir de l'expression du rendement établie selon la norme européenne EN 12975-2 et de sa représentation graphique (voir DT 1) :

- Expliquer pourquoi la valeur maximale du rendement est inférieure à 100 %.
- Décrire les conditions de fonctionnement du capteur les plus favorables.
- Justifier la non-linéarité de la courbe du rendement.

1.2. Puissances reçue et utile

On souhaite connaître la puissance utile maximale par mètre-carré d'absorbeur. Dans ce but, on limite l'étude entre 12 et 14 heures, le 22 juin (voir DT 2 et DR 2).

- Justifier le choix de l'intervalle d'étude.
- Compléter la feuille de calcul du document réponse DR 1.
- Déterminer l'heure à laquelle le rayonnement solaire global G est maximal.

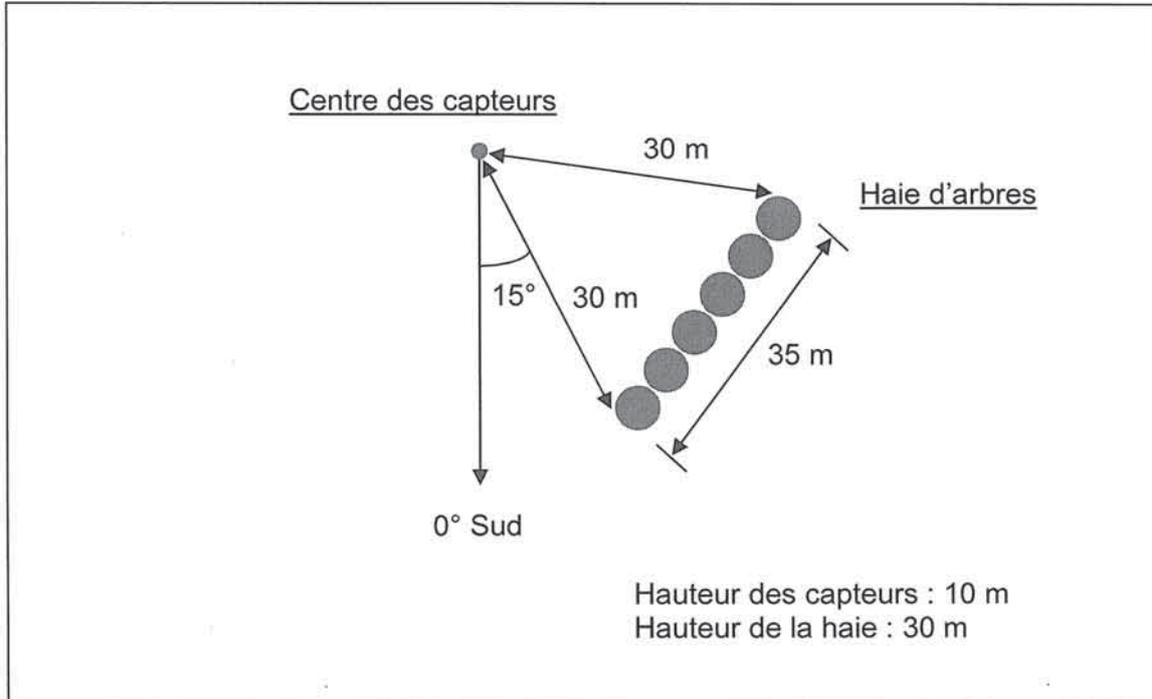
1.3. Dimensionnement de l'installation

On suppose que le rayonnement solaire global maximal G_{\max} est égal à 900 W/m² d'absorbeur.

- Calculer le rendement et la puissance utile crête du capteur.
- Déterminer la surface et le nombre de panneaux solaires à mettre en place.
- Déterminer le débit volume du circuit primaire en m³/h.

1.4. Masque solaire

On prévoit qu'à moyen terme, les arbres plantés en limite de propriété atteindront une hauteur de 30 mètres. Le plan masse est schématisé ci-dessous :



- Tracer le masque solaire dû aux arbres sur le document réponse DR 2.
- Relever la période de l'année où la production sera affectée par le masque.

1.5. Impact environnemental

L'énergie annuelle produite par les panneaux solaires est estimée à 76 000 kWh. On désire évaluer la quantité de gaz naturel économisé et la masse de CO_2 non émise dans l'atmosphère par les chaudières à gaz, grâce à l'installation solaire.

Le gaz naturel est assimilé au méthane pur : CH_4

Composition simplifiée de l'air : 79 % N_2 , 21 % O_2

Pouvoir calorifique inférieur du gaz naturel : $\text{PCI} = 10,2 \text{ kWh/m}^3_{\text{N}}$

Rendement moyen de la chaudière à condensation sur PCI : 98 %

Pression du gaz naturel au compteur : 300 mbar

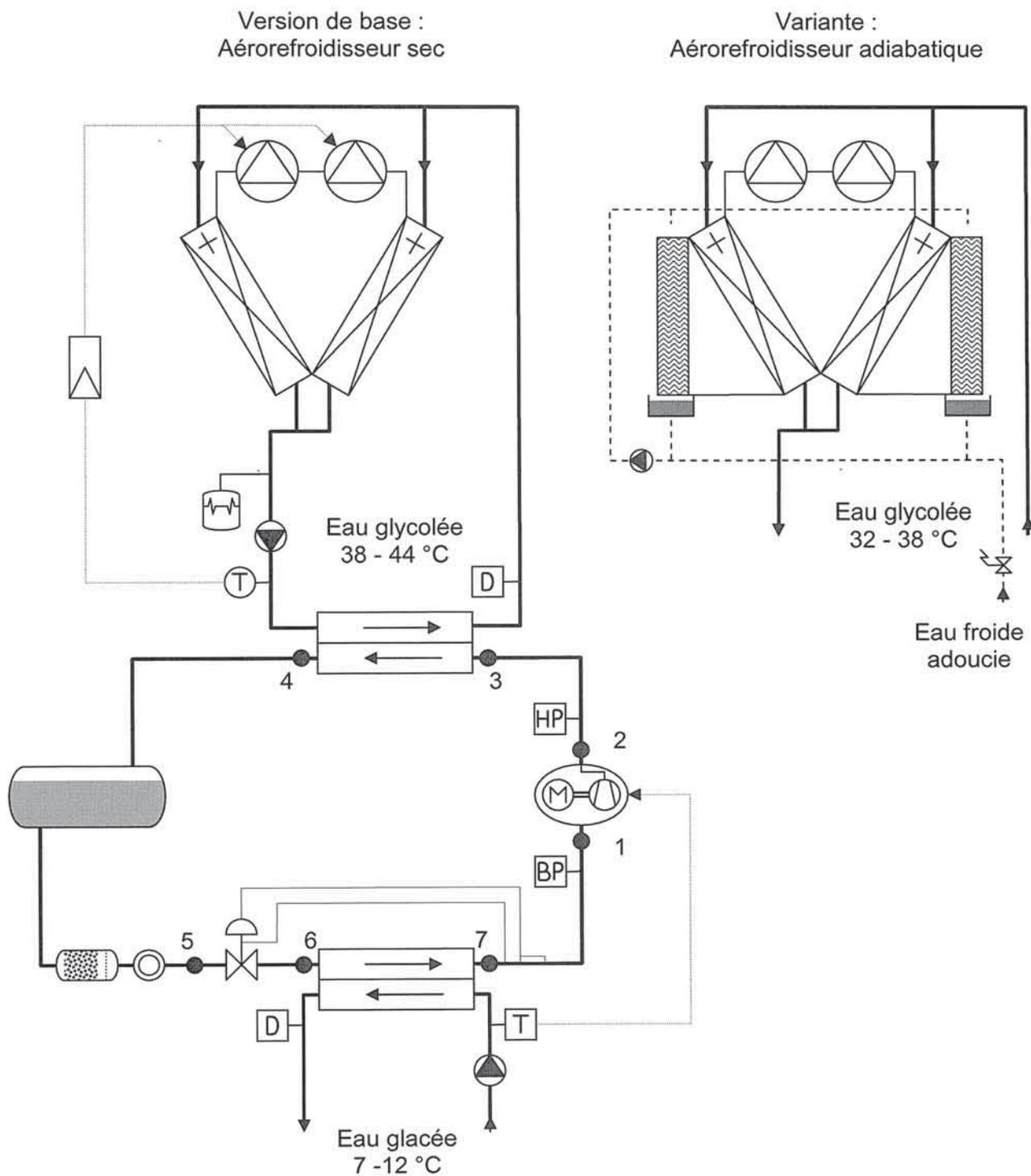
- Écrire l'équation de combustion stœchiométrique du méthane, dans l'oxygène pur.
- Écrire l'équation de combustion oxydante complète du méthane, avec le facteur d'air λ comme paramètre.
- Calculer la masse de CO_2 produite par la combustion oxydante complète d'un mètre-cube de méthane, dans les conditions normales de pression et de température.
- Évaluer le volume annuel de gaz économisé par l'installation solaire, dans les conditions normales et de mesure.
- Évaluer la masse annuelle de CO_2 non produite.

Partie 2 : Production frigorifique

Une machine frigorifique produit de l'eau glacée pour la climatisation de la cafétéria et les boutiques du centre aquatique.

L'étude a pour objet la comparaison entre deux moyens de rejet de chaleur dans l'environnement, l'aérefroidisseur sec (appelé outre atlantique « dry cooler ») et l'aérefroidisseur adiabatique.

Le schéma de principe de l'installation est le suivant :



Données initiales pour l'étude de la version de base (aéroréfrigérant sec) :

- Fluide frigorigène : R407C
- Puissance frigorifique utile : 250 kW
- Régime d'eau glacée : 7 / 12 °C
- Conditions air extérieur : 30 °C / 40%
- Écart de température sur l'air : 10 K
- Régime d'eau glycolée de refroidissement : 38 / 44 °C
- Pression d'évaporation : $p_0 = 5$ bars
- Pression de condensation : $p_k = 19$ bars
- Surchauffe dans l'évaporateur : 5 K
- Sous-refroidissement dans le condenseur : 3 K
- Chute de température dans la ligne liquide : 4 K
- Échauffement dans la tuyauterie d'aspiration : 2 K
- Refroidissement dans la tuyauterie de refoulement : 5 K
- La température de sortie du compresseur est supérieure de 8 K, par rapport à celle obtenue avec une compression théorique (isentropique).
- Les pertes de charge dans l'ensemble du circuit frigorifique sont négligeables.
- Le rendement volumétrique du compresseur est estimé par la formule :

$$\eta_v = 1 - 0,04 \cdot p_k / p_0$$

où p_k et p_0 sont respectivement les pression de condensation et d'évaporation.

- Rendement indiqué du compresseur : $\eta_i \sim \eta_v$
- Rendement mécanique du compresseur : 0,9
- Rendement du moteur électrique : 0,92

Données complémentaires pour l'étude de la variante (aéroréfrigérant adiabatique) :

- L'aéroréfrigérant adiabatique est équipé de surfaces de ruissellement, de façon à refroidir l'air extérieur avant qu'il atteigne les batteries d'échange. Une pompe permet de recycler l'eau qui n'a pas été évaporée. Le niveau d'eau dans les bacs est maintenu constant par apport automatique d'eau froide adoucie.
- Efficacité de l'humidification adiabatique : 60 %
- Régime d'eau glycolée de refroidissement : 32 / 38 °C
- Pression de condensation : $p_k' = 16,3$ bars
- Toutes les autres données restent inchangées.

Travail demandé :

2.1. Principe des aérorefroidisseurs

- Représenter sur le diagramme de l'air humide (DR 3) l'évolution de l'air dans les deux types d'aérorefroidisseur.
- Expliquer pourquoi l'aérorefroidisseur adiabatique n'est soumis ni à déclaration préfectorale, ni à contrôle périodique, comme le sont les tours de refroidissement.

2.2. Étude de la machine frigorifique avec l'aérorefroidisseur sec

- Tracer en bleu sur le diagramme enthalpique du R407C (DR 29), le cycle frigorifique de la machine.
- Relever les coordonnées des points caractéristiques du cycle et compléter le tableau du document réponse DR 4.
- Calculer le débit masse de fluide frigorigène, le débit volume aspiré et le débit volume balayé par le compresseur.
- Calculer la puissance à évacuer au condenseur, la puissance électrique absorbée par le moteur du compresseur et le COP de la machine.

2.3. Vérifications des hypothèses sur les pressions

- Représenter la variation de température des fluides dans l'aérorefroidisseur sec, le condenseur et l'évaporateur, sur le document réponse DR 5.
- Indiquer le pincement de chaque échangeur.

2.4. Étude de la machine frigorifique avec l'aérorefroidisseur adiabatique

- Tracer en rouge sur le diagramme enthalpique du R407C (DR 29), le cycle frigorifique de la machine.
- Calculer le débit volume balayé par le compresseur.
- Calculer la puissance à évacuer au condenseur, la puissance électrique absorbée par le moteur du compresseur et le COP de la machine.

2.5. Estimation des consommations et bilan

Par simplification, on admet :

La machine fonctionne toujours à pleine puissance.

Le débit d'eau de déconcentration est égal à 20 % du débit utile évaporé.

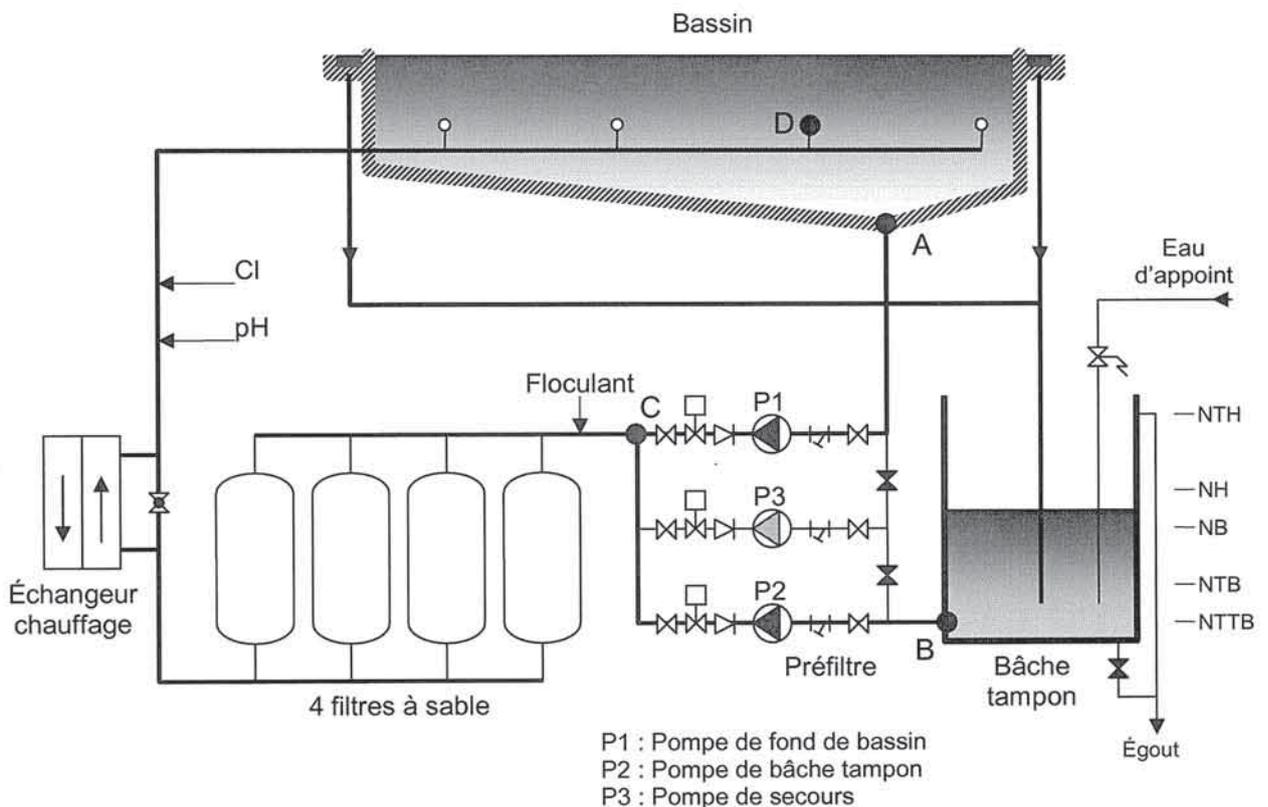
Le prix moyen de l'électricité et de l'eau adoucie sont respectivement 0,08 €/kWh et 3 €/m³.

- Comparer et commenter les résultats des questions 2.2 et 2.4.
- Calculer le débit d'eau évaporée dans l'aérorefroidisseur adiabatique.
- Estimer l'économie financière horaire avec l'aérorefroidisseur adiabatique.

Partie 3 : Hydraulique des bassins

L'étude porte sur la sélection des pompes du bassin sportif. L'hydraulique mixte est ici employée : Le débit traversant les filtres et l'échangeur de chauffage provient d'une part de la bonde de fond de bassin et d'autre part de la surface via les goulottes de débordement et la bêche tampon, à raison de 50 / 50 % environ. Chaque circulation est assurée par une pompe et une troisième pompe est ajoutée en secours. Pour simplifier l'exploitation, les trois pompes sont identiques.

Ce principe de fonctionnement est illustré par le schéma suivant :



Données :

Les niveaux de l'installation sont les suivants :

- Pompes P1, P2 et P3 : 0,00 m
- Eau du bassin : 4,60 m
- Buses de refoulement : 3,60 m
- Bêche tampon :
 - Niveau très haut NTH = 2,60 m
 - Niveau haut NH = 1,60 m
 - Niveau bas NB = 1,40 m
 - Niveau très bas NTB = 0,70 m
 - Niveau très très bas NTTB = 0,60 m

Travail demandé :

3.1. Analyse du schéma de principe

- Justifier la position relative des éléments sur le circuit hydraulique.
- Compléter le graphe de la régulation de niveau et de la sécurité manque d'eau dans la bêche tampon sur le document réponse DR 6.

3.2. Hauteur manométrique des pompes

- A l'aide de l'équation de Bernoulli, exprimer les hauteurs manométriques totales (Hmt) des pompes P1 et P2 sous leur forme littérale.
- Indiquer quelle est la pompe qui produit la plus grande Hmt.
- Préciser le niveau dans la bêche tampon à prendre en compte pour calculer la Hmt de la pompe P2.

3.3. Points de fonctionnement des pompes

Le calcul estimatif des pertes de charge donne les résultats suivants :

Tronçon	Débit [m ³ /h]	Perte de charge totale [m]
AC	200	3,00
BC	200	2,00
CD	400	12,00

Vitesse de l'eau dans les buses de refoulement, pour le débit 400 m³/h : 2 m/s

Les pompes CALPEDA NM4 125/250 (courbe A) ont été sélectionnées.

- Expliquer la signification des courbes A à E du courbier de pompe (DR 7).
- Donner la relation et tracer sur le courbier du constructeur de pompes (DR 7), la caractéristique des réseaux :
 - circuit de la pompe P1,
 - circuit de la pompe P2, avec le niveau très haut dans la bêche tampon,
 - circuit de la pompe P2, avec le niveau très très bas dans la bêche tampon.
- Déterminer dans chaque cas, le débit, la puissance absorbée, le rendement de la pompe.

3.4. Perte de charge à l'aspiration de la pompe de bêche tampon

Les caractéristiques de la tuyauterie à l'aspiration de la pompe P2 sont les suivantes :

- Débit 200 m³/h
 - Tuyauterie en PVC pression : Ø 160 x 6,2 mm – longueur 3,20 m
 - 1 sortie de réservoir - $\zeta = 0,5$
 - 5 coudes 90° - $\zeta = 0,4$
 - Vanne d'isolement à papillon - $Kvs = 1200$
 - Préfiltre à panier CALPEDA PF : à sélectionner
- Déterminer la perte de charge linéique et la vitesse, par l'abaque du document réponse DR 8.
- Sélectionner le préfiltre et déterminer sa perte de charge sur la documentation technique DT 3.
- Calculer la perte de charge de la vanne papillon, en mm.
- Calculer la perte de charge totale de la tuyauterie d'aspiration.

3.5. Risque de cavitation de la pompe de bêche tampon

On souhaite maintenant vérifier que la pompe de bêche tampon n'est pas exposée à la cavitation. On rappelle la formule du $NPSH_{disponible}$:

$$NPSH_{disponible} = \frac{p_{absolue\ aspiration} - p_{vs\theta}}{\rho \cdot g} + \frac{v_{aspiration}^2}{2g} \quad [m]$$

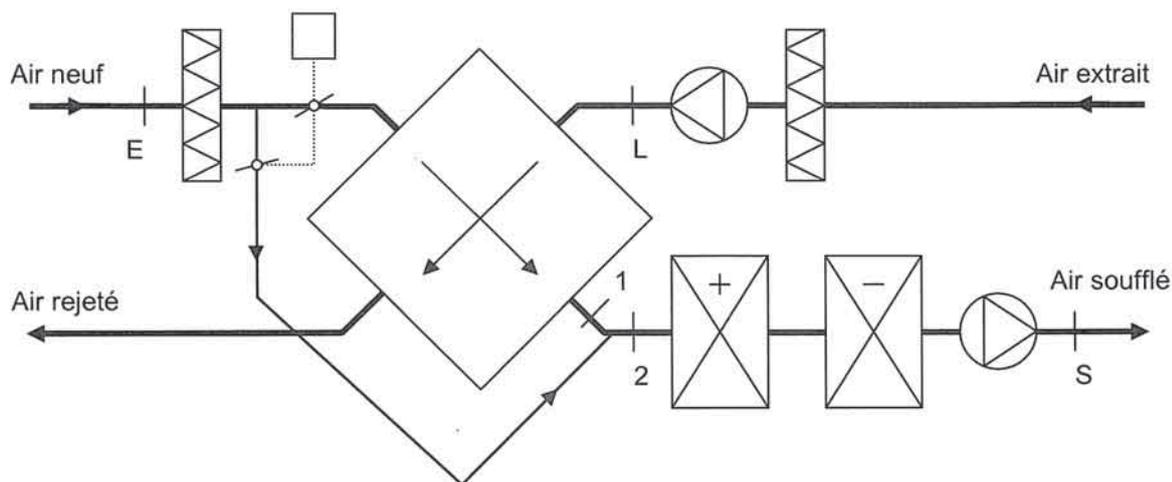
On considère les conditions les plus défavorables :

- Débit : 220 m³/h
 - Perte de charge à l'aspiration, avec préfiltre encrassé : 4 m
 - Niveau dans la bêche tampon : NTTB = 0,60 m
 - Pression de vapeur saturante (à 28 °C) : $p_{vs28} = 3785$ Pa
 - Masse volumique (à 28°C) : $\rho_{28} = 996$ kg/m³
 - Pression atmosphérique : 101325 Pa
- Déterminer le $NPSH$ requis par la pompe.
- Donner l'expression littérale de la pression absolue à l'aspiration, en Pa.
- Calculer le $NPSH$ disponible sur l'installation.
- Conclure sur le risque de cavitation.

Partie 4 : Traitement de l'air

Afin d'assurer le confort de la clientèle et le renouvellement d'air de la cafétéria, une centrale de traitement d'air « tout air neuf » comprend les éléments suivants :

- Ensemble de filtration,
- Récupérateur de chaleur à plaques, WOLF type **KGXD 160**, équipé d'un bypass interne
- Batterie chaude à eau chaude,
- Batterie froide à eau glacée, avec séparateur de gouttes
- Ventilateurs de soufflage et de reprise



Données :

- Conditions extérieures de base :
 - Été : T° : 30 °C ; HR : 40 %
 - Hiver : T° : - 7 °C ; HR : 90 %
- Conditions intérieures contractuelles :
 - Été : T° : 24 °C ; HR : Non contrôlée
 - Hiver : T° : 20 °C ; HR : Non contrôlée
- Régimes de température d'eau :
 - Eau glacée : 7 / 12 °C
 - Eau chaude : 80 / 65 °C
- Débits d'air
 - Soufflé : $q_{VAS} = 12\ 000\ \text{m}^3/\text{h}$
 - Extrait : $q_{VAE} = 10\ 000\ \text{m}^3/\text{h}$
- Température de soufflage dans les conditions de base :
 - Hiver : T° : 28 °C
 - Été : T° : 15 °C
- Documentation technique du récupérateur de chaleur : DT 4, DR 9 et DR 10.

Travail demandé :

4.1. Récupérateur à plaques

On vous demande d'analyser les performances récupérateur de chaleur à plaques doté d'un bypass interne.

- *Présenter les deux conditions qui provoquent l'ouverture du bypass du récupérateur de chaleur,*
- *Vérifier que le modèle installé est adapté à l'installation,*
- *Déterminer sur le DR 10 la température minimale de l'air neuf sans risque de formation de givre dans le récupérateur (l'hygrométrie intérieure est comprise entre 30 et 50 %),*
- *Déterminer sur le DR 9 l'efficacité du système de récupération et la température de sortie air neuf, aux conditions nominales de fonctionnement **hiver**.*

4.2. Analyse du fonctionnement hiver

On souhaite connaître la puissance récupérée grâce au récupérateur de chaleur et la puissance de la batterie chaude.

- *Tracer en bleu sur le diagramme de l'air humide DR 13, l'évolution de l'air neuf à travers les différents éléments de la CTA,*
- *Relever les caractéristiques des points et compléter le tableau DR 11,*
- *Calculer la puissance récupérée avec le récupérateur de chaleur et la puissance de la batterie chaude,*
- *Calculer l'efficacité de la batterie chaude.*
- *Déterminer la température de soufflage en considérant que la puissance récupérée est nulle (givrage total du récupérateur).*

4.3. Analyse du fonctionnement été

On veut connaître la puissance de la batterie froide et les conditions de température et d'hygrométrie obtenu dans le local traité par la CTA.

En hypothèse, on prendra :

- Charge enthalpique $H = 45 \text{ kW}$
 - Efficacité du récupérateur = 60 %.
- *Tracer en rouge sur le diagramme de l'air humide DR 13, l'évolution de l'air neuf à travers les différents éléments de la CTA,*
 - *Relever les caractéristiques des points et compléter le tableau DR 11,*
 - *Calculer la puissance récupérée avec le récupérateur de chaleur et la puissance de la batterie froide,*
 - *Calculer l'efficacité de la batterie froide,*
 - *Déterminer les conditions obtenues dans le local.*

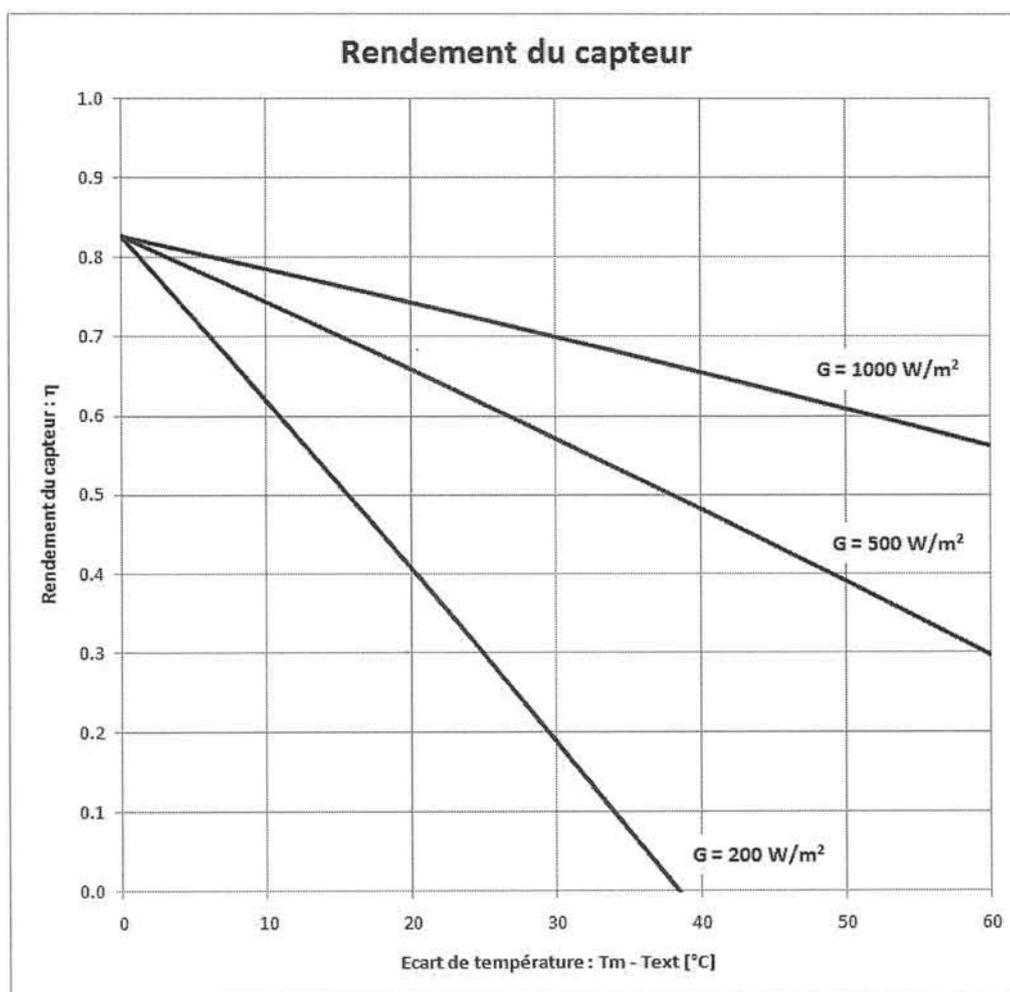
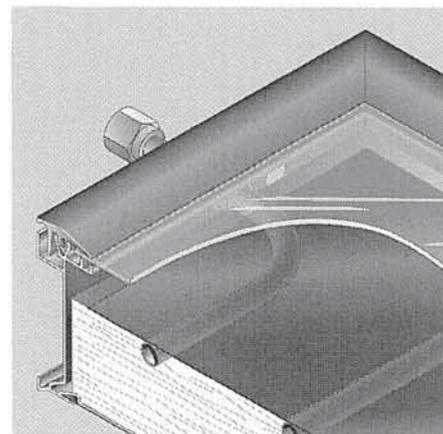
DOCUMENTATION TECHNIQUE : DT 1
Caractéristiques du capteur WEISHAUPT WTS-F1 K4

Rendement, d'après EN 12975-2 :

$$\eta = \eta_0 - a_1 \cdot (T_m - T_{ext})/G - a_2 \cdot (T_m - T_{ext})^2/G$$

avec :

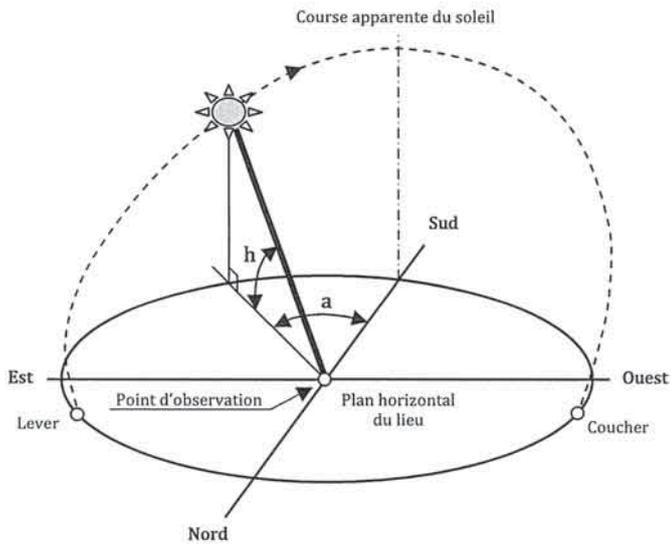
- Rendement optique : $\eta_0 = 0,827$
- Coefficient de perte du premier ordre : $a_1 = 4,09 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$
- Coefficient de perte du second ordre : $a_2 = 0,0055 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}^2$
- Température moyenne du fluide : T_m [°C]
- Température extérieure : T_{ext} [°C]
- Puissance solaire global reçue sur le plan du capteur : G [W/m²]



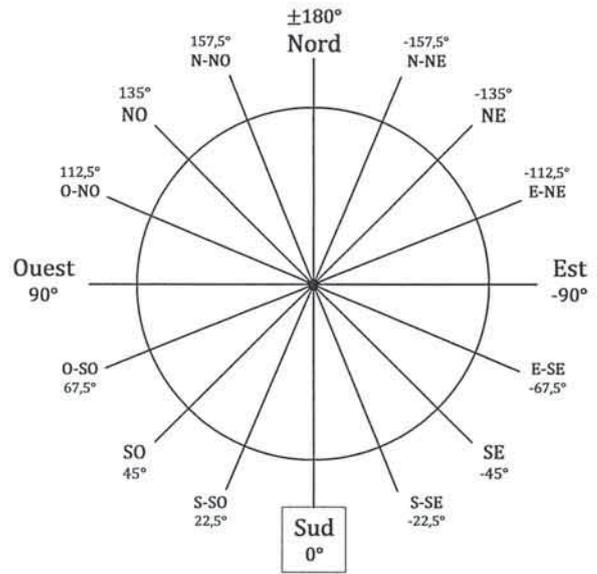
Autres caractéristiques :

- Masse : 53 kg
- Surface brute : 2,55 m²
- Surface absorbeur : 2,28 m²
- Surface d'ouverture : 2,29 m²

DOCUMENT TECHNIQUE : DT 2
Formulaire solaire



Repérage de la position du soleil par son azimut (a) et sa hauteur (h)



Orientation et azimut

$$G = S + D$$

$$S = I \cdot C_I$$

$$C_I = \sin i \cdot \cos h \cdot \cos(o - a) + \cos i \cdot \sin h$$

$$I = E_{sol} \cdot e^{\left[\frac{-4,90}{0,9+9,4 \cdot \sin h} \right]}$$

$$D = 125 \cdot (\sin h)^{0,4} \cdot \left(\frac{1 + \cos i}{2} \right) + 211,86 \cdot (\sin h)^{1,22} \cdot \left(\frac{1 - \cos i}{2} \right)$$

G : Rayonnement solaire global sur le capteur (puissance reçue par le panneau solaire), en W/m^2

S : Rayonnement solaire direct sur le capteur, en W/m^2

D : Rayonnement solaire diffus arrivant sur le plan capteur après avoir été réfléchi par les nuages, les poussières, les aérosols et le sol, en W/m^2

I : Rayonnement solaire direct ayant traversé l'atmosphère, en subi une atténuation de son intensité en fonction de différents paramètres atmosphériques, en W/m^2

C_I : Coefficient d'incidence : angle formé par le rayonnement solaire avec la perpendiculaire à la surface du capteur

E_{sol} : Constante solaire au jour considéré, en W/m^2 (voir DR 1)

i : inclinaison du panneau solaire par rapport à l'horizontal, en $^\circ$

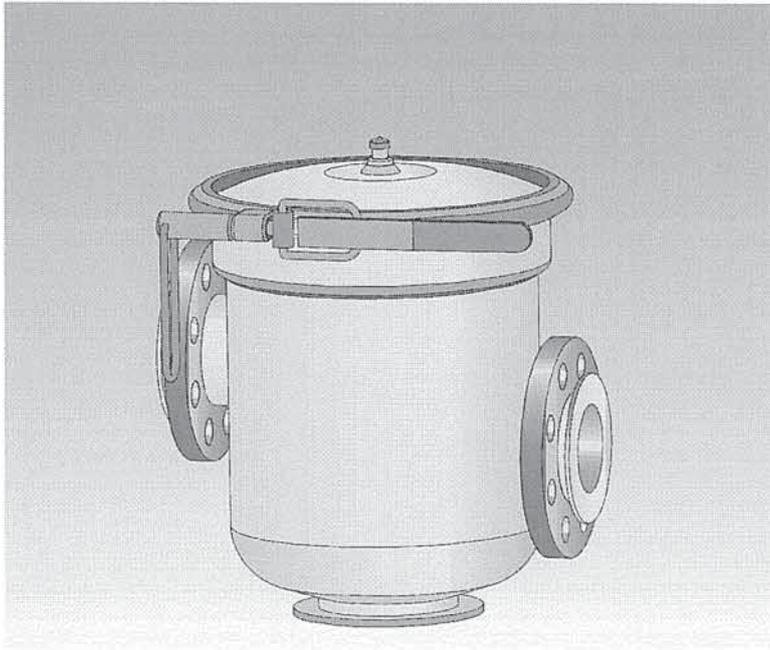
o : orientation du panneau solaire, en $^\circ$

a : azimut du soleil, en $^\circ$
 h : hauteur angulaire solaire, en $^\circ$ } (voir DR 2)

DOCUMENTATION TECHNIQUE : DT 3
Préfiltre pour pompes

PF

Préfiltres en acier inox



Exécution

Préfiltres avec panier extractible en acier inoxydable.
Orifices avec brides libres.
Fermeture type clamp avec double molettes de réglage.
Panier préfiltre avec trou de Ø 6 mm.

Utilisations

Préfiltres pour pompe de circulation eau de piscine.
Pour éviter l'entrée de corps solides dans la pompe.

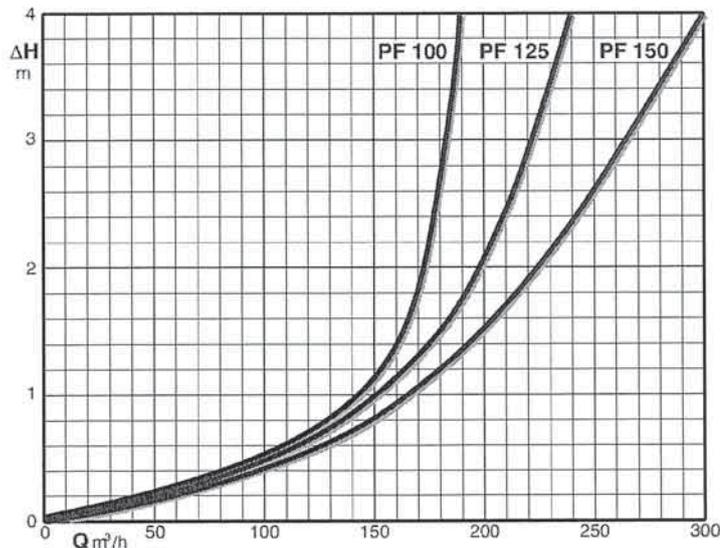
Limites d'utilisation

Pression maxi dans le corps 3 bar.
Débit maxi: 180 m³/h pour PF 100.
240 m³/h pour PF 125.
300 m³/h pour PF 150.

Matériaux

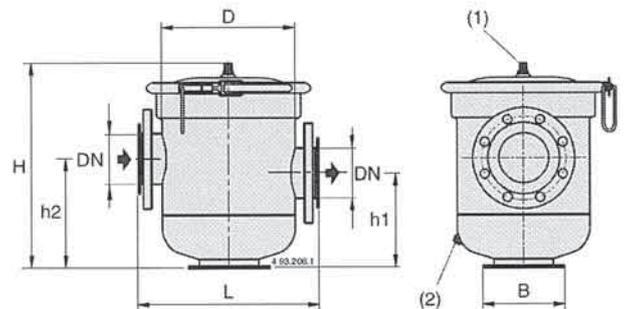
Composant	Matériaux	
Corps du préfiltre	PF 100-304 PF 125-304 PF 150-304	Acier inox AISI 304
Corps du préfiltre	PF 100-316 PF 125-316 PF 150-316	Acier inox AISI 316
Panier filtre	Acier inox AISI 316	

Diagramme de pertes de charge



ΔH = Pertes de charge en mètres

Dimensions et poids



Brides UNI 6089 PN 10

Type	mm							kg
	DN	H	h1	h2	L	D	B	
PF 100	100	530	247	287	440	292	185	17,5
PF 125	125				440	292	185	17,7
PF 150	150	550	260	300	500	350	210	23,3

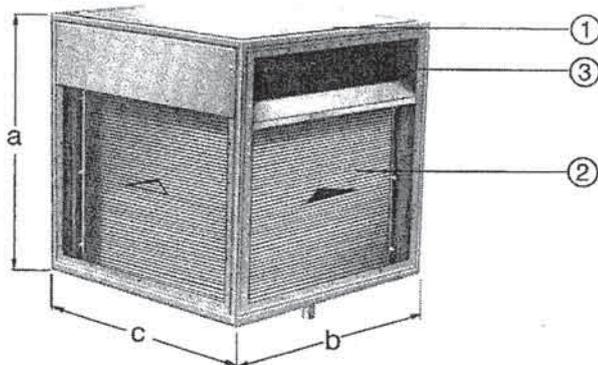
1 Bouchon de purge d'air

2 Vidange

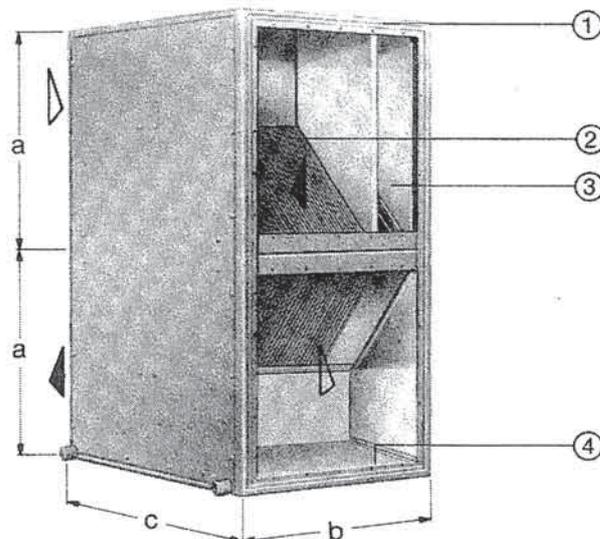
DOCUMENTATION TECHNIQUE : DT 4
Description du récupérateur de chaleur



KGX sens de l'air horizontal/horizontal pour KG 15-250



KGXD sens de l'air diagonal pour KG 25-250



- ① Caisson
- ② Echangeur de chaleur
- ③ Bypass

interne (en option)

④ Bac de récupération des condensats

Les flux d'air neuf et d'air repris passent au travers de l'échangeur, les deux flux étant séparés par des plaques fines en aluminium. Le transfert de chaleur se fait par contact au travers des plaques.

- Efficacité jusqu'à 80 % et plus
- Aucun transfert d'humidité
- Pas de pièces en mouvement, résistance à la corrosion

Type	Débit d'air nominal \dot{V} [m ³ /h]		Dimensions [mm]			Poids [kg]		Raccord de condensats Ø R"
	sans by-pass int.	avec by-pass int.	a	b	c	sans by-pass int.	avec by-pass int.	
KGX 15	1 900	1 400	300	630	630	50	50	
KGX 20	2 700	2 000	345	800	800	75	75	
KGX 25	2 500	2 250	500	500	500	50	50	
KGX 40	4 000	3 550	630	630	630	80	80	
KGX 63	6 300	5 450	800	800	800	140	120	
KGX 100	10 000	9 250	1 000	1 000	1 000	260	245	
KGX 160	16 000	14 000	1 250	1 250	1 250	485	430	
KGX 250	25 000	22 000	1 600	1 600	1 600	970	880	
KGX 400	40 000	34 000	} sur demande					
KGX 630	63 000	54 000						
KGX 800	80 000	68 000						
KGX 1000	100 000	85 000						
KGXD 25	2 500	2 250	500	500	700	80	80	¾
KGXD 40	4 000	3 550	630	630	910	140	135	¾
KGXD 63	6 300	5 450	800	800	1 100	215	210	¾
KGXD 100	10 000	9 250	1 000	1 000	1 390	400	390	1
KGXD 160	16 000	14 000	1 250	1 250	1 900	750	715	1
KGXD 250	25 000	22 000	} sur demande					
KGXD 400	40 000	34 000						
KGXD 630	63 000	54 000						
KGXD 800	80 000	68 000						
KGXD 1000	100 000	85 000						

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 : _____

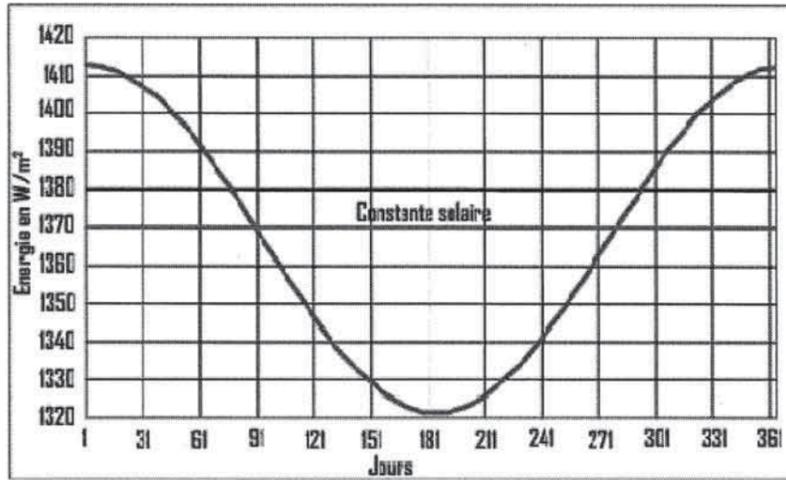
(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)

Prénoms : _____ N° du candidat

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

EFE GCE 1

DOCUMENT REPONSE : DR 1
Calcul des puissances solaires



E_{sol} : Variation de la constante

E_{sol} : Constante solaire au 22 juin : W/m^2

Heure solaire vraie	Azimat α en $^\circ$	Hauteur solaire h en $^\circ$	Coefficient d'incidence C_I	Rayonnement solaire direct I en W/m^2	Rayonnement solaire diffus D en W/m^2	Rayonnement solaire direct sur le capteur S en W/m^2	Rayonnement solaire global sur le capteur G en W/m^2
Exemple 11h	- 33	65	0,9044	784,60	130,09	709,59	839
12 h							
13 h							
14h							

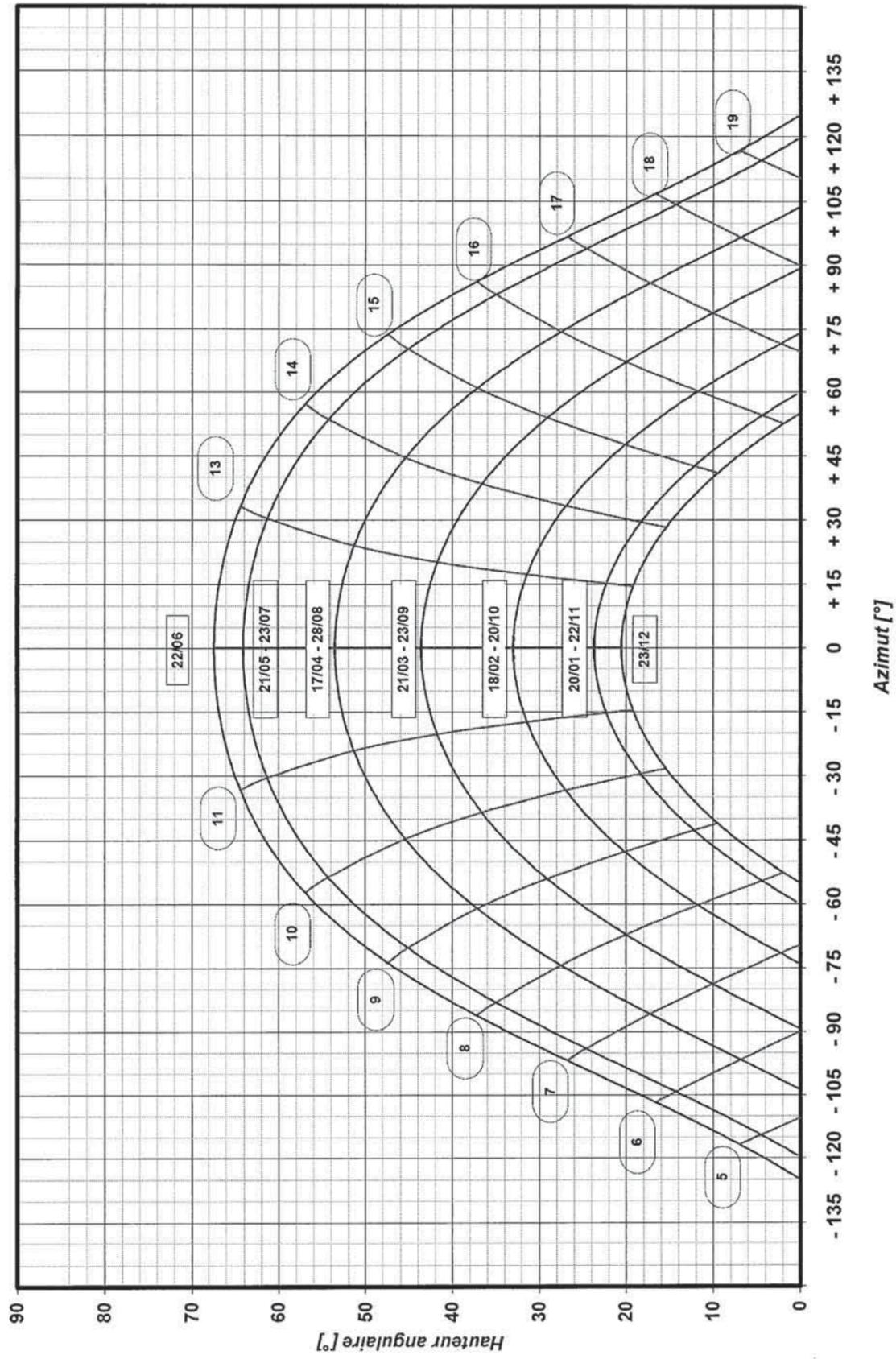
NE PAS DÉGRAFER CETTE LIASSE

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

DOCUMENT REPONSE : DR 2
Position du soleil - Tracé du masque

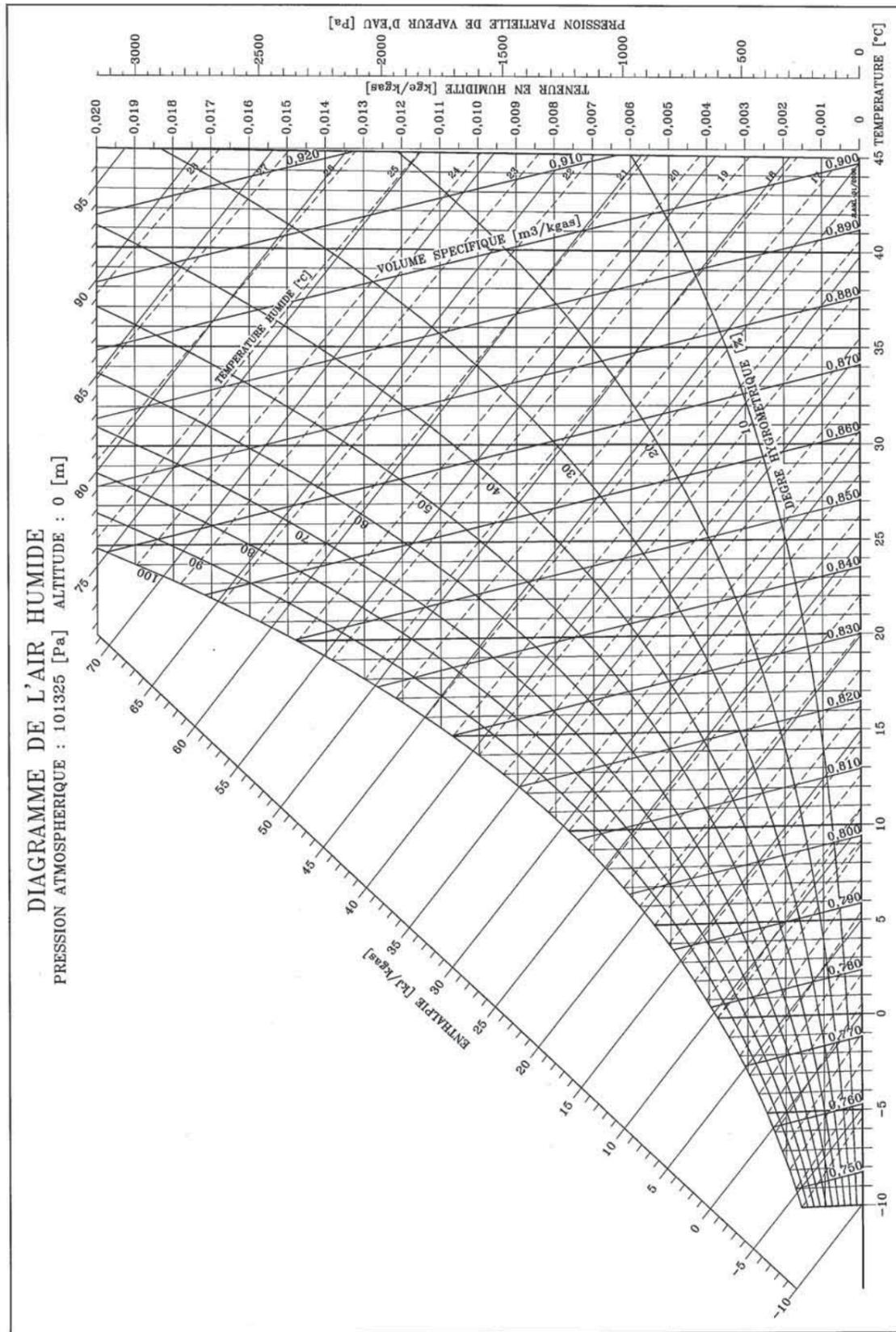
TRAJECTOIRES DU SOLEIL
(Latitude = 46 °N)



NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

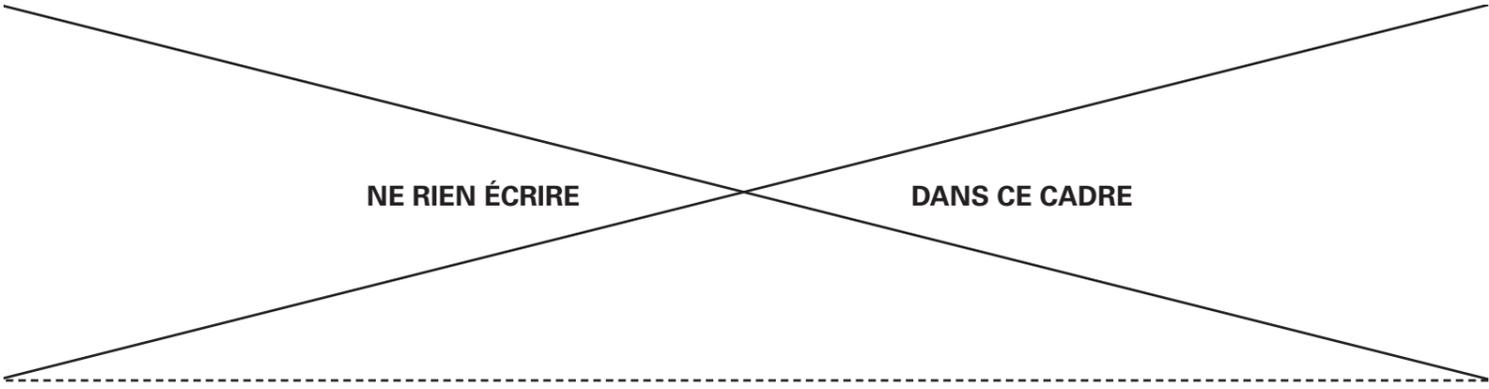
DOCUMENT REPONSE : DR 3
Diagramme de l'air humide (pour question 2.1)



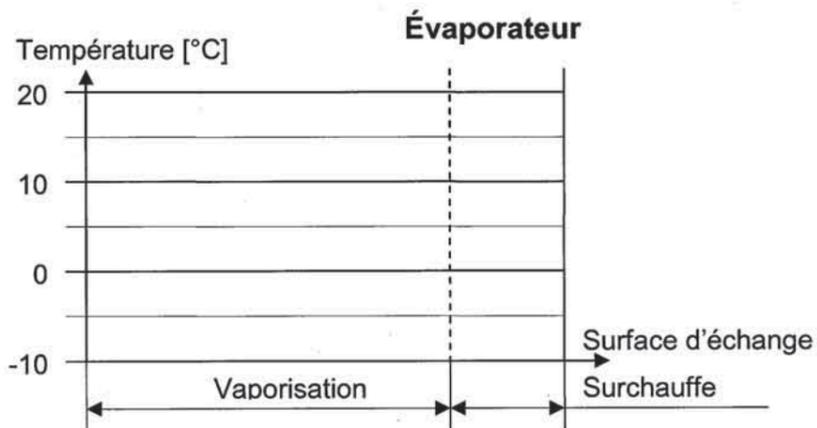
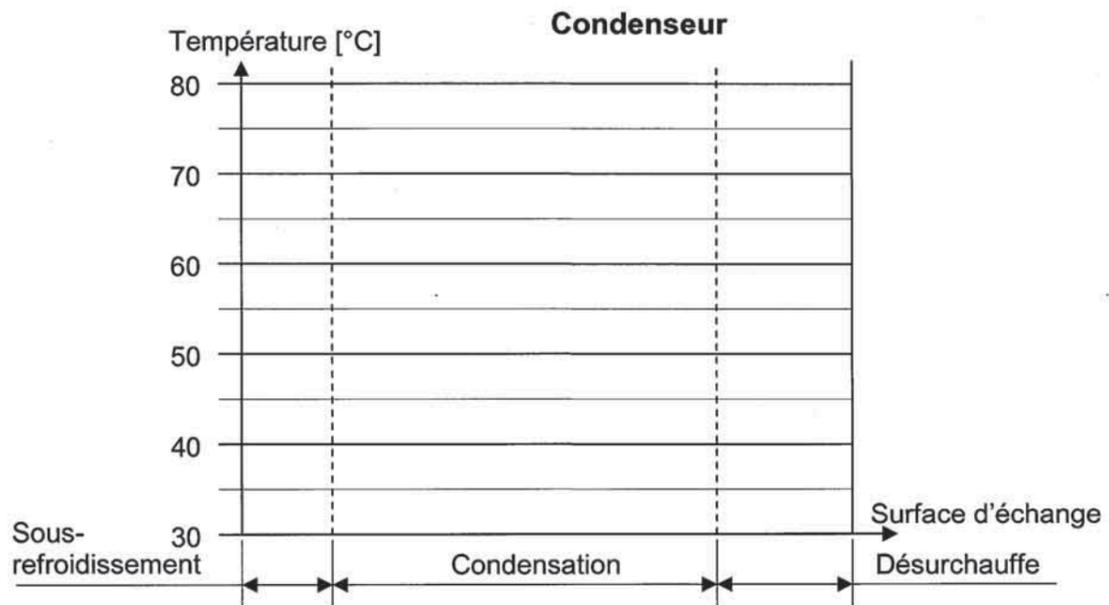
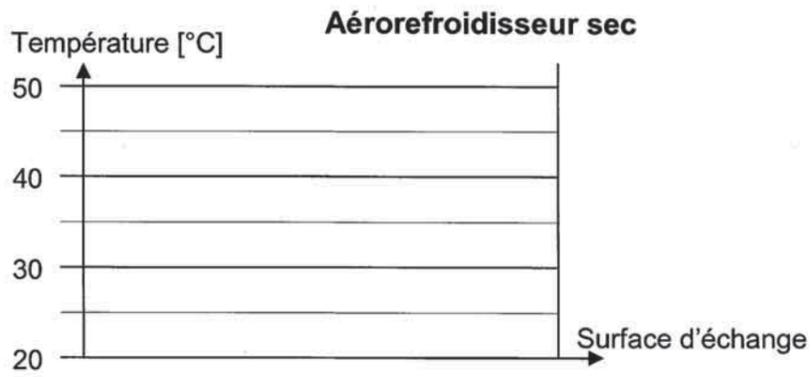
NE RIEN ÉCRIRE

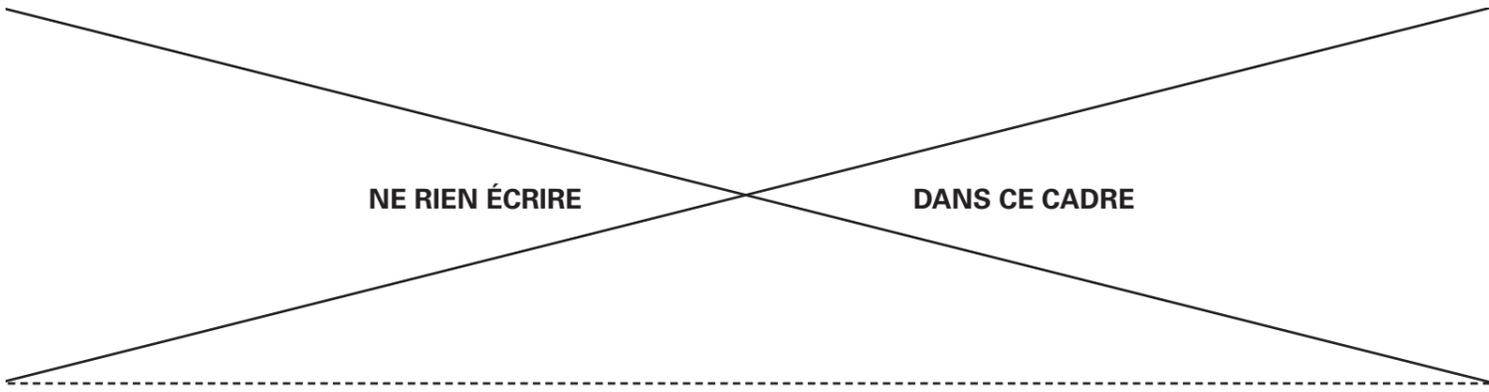
DANS CE CADRE

DOCUMENT REPONSE : DR 4								
Points caractéristiques du cycle frigorifique (avec aérorefroidisseur sec)								
Titre en vapeur %								
Titre en liquide %								
Sous-refroidissement [K]								
Surchauffe [K]								
Volume massique [m ³ /kg]								
Entropie massique [kJ/kg.K]								
Enthalpie massique [kJ/kg]								
Température [°C]								
Pression absolue [bar]								
Température de rosée [°C]								
Température de bulle [°C]								
État du fluide								
Repère des points	1	2 th	2 _r	3	4	5	6	7



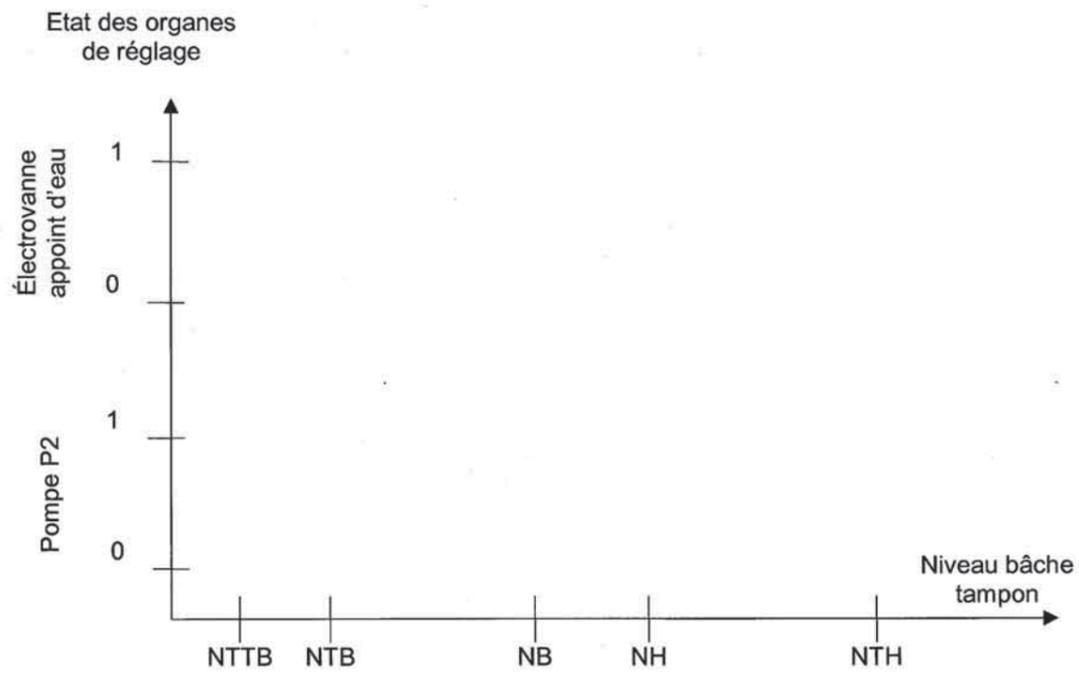
DOCUMENT REPONSE : DR 5
Température des fluides dans les échangeurs





DOCUMENT REPONSE : DR 6
Graphe de régulation de niveau dans la bache tampon

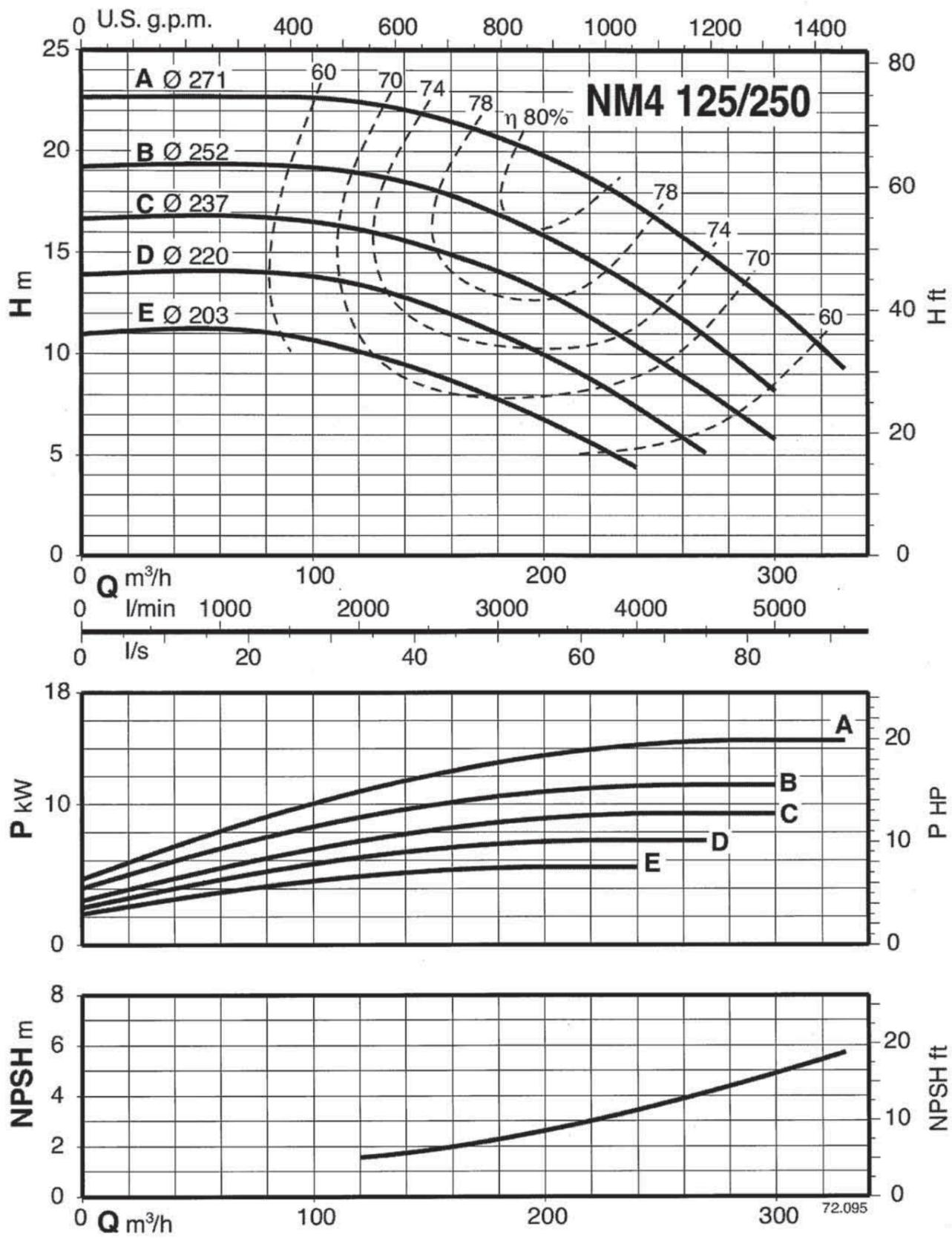
La bache tampon permet essentiellement de recueillir l'eau en excès lors de l'entrée des baigneurs dans le bassin, mais aussi de gérer les appoints d'eau. Une sécurité manque d'eau protège la pompe de bache tampon (P2). Quatre contacteurs de niveau sont employés pour réaliser ces deux fonctions.



NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

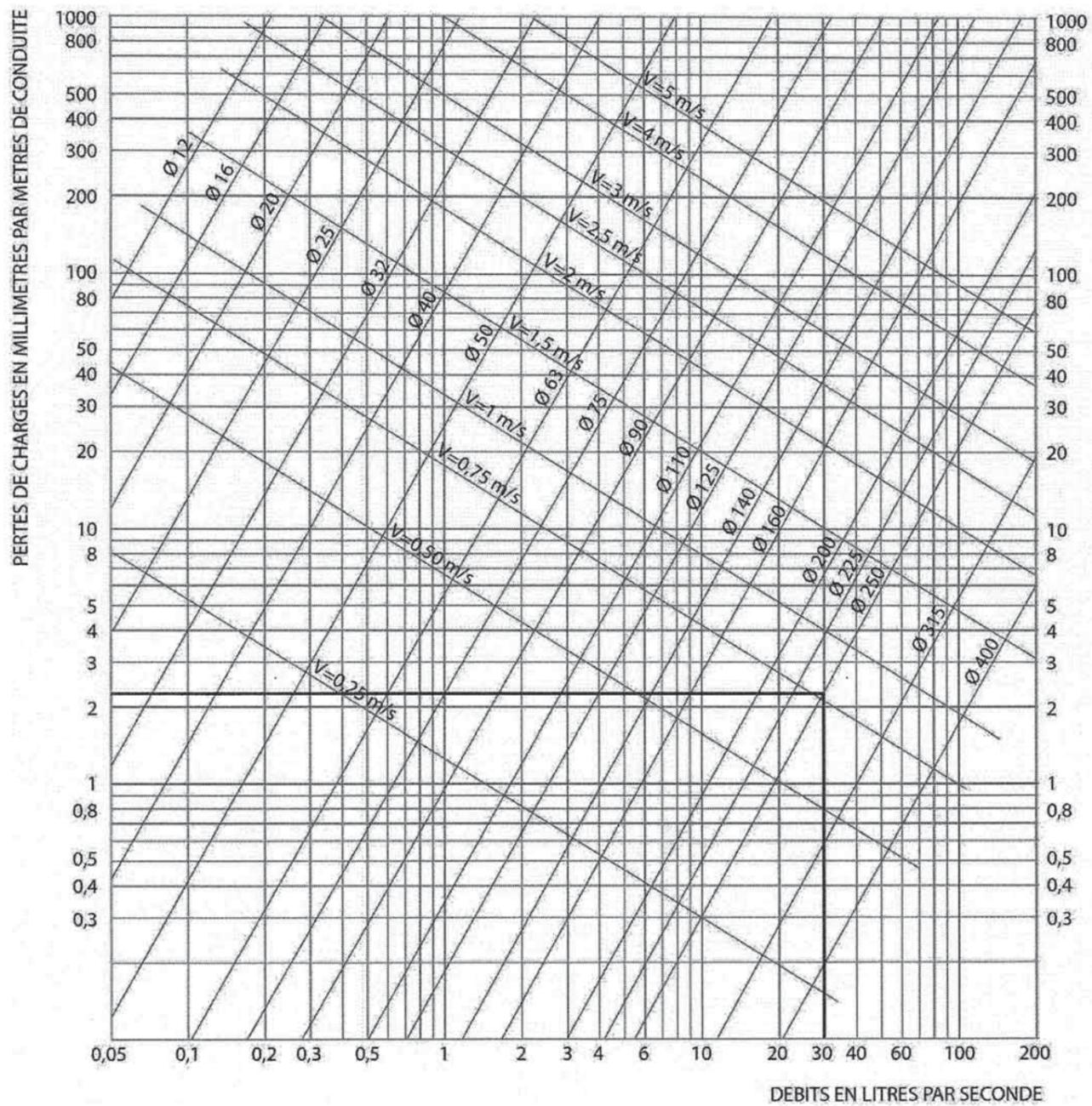
DOCUMENT REPONSE : DR 7
Documentation de la pompe CALPEDA NM4 125/250



NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

DOCUMENT REPONSE : DR 8
Abaque de perte de charge PVC pression



Mode d'emploi de l'abaque :

Détermination de la perte de charge pour un diamètre D et un débit Q donnés.
On trace une verticale qui passe par Q jusqu'au point d'intersection avec la droite D. De ce point on trace une horizontale qui coupe l'échelle des pertes de charge à la valeur recherchée.

Exemple : pour un débit $Q = 30$ l/s, une conduite $D=250$ mm
- la perte de charge $J \sim 2,3$ mm/m.
- la vitesse d'écoulement V voisine de 0,75 m/s.

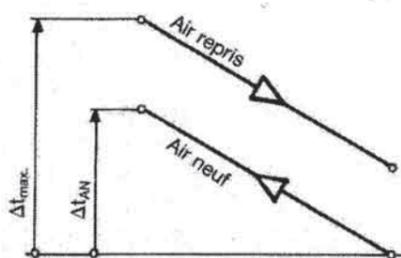
NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

DOCUMENT REPONSE : DR 9
Efficacité du récupérateur de chaleur



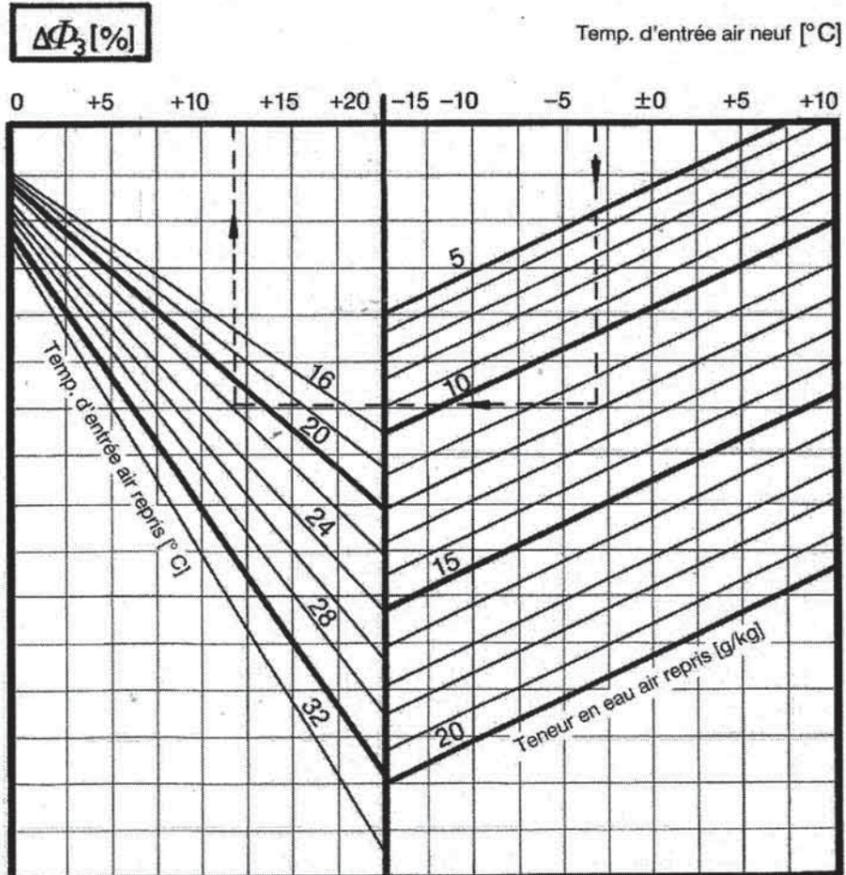
Efficacité Φ



$$\Phi = \frac{\Delta t_{AN}}{\Delta t_{max}} \cdot 100 \%$$

$$\Phi = \Phi_0 + \Delta\Phi_1 + \Delta\Phi_2 + \Delta\Phi_3$$

Φ_0 [%]	61	60	58	61	60	62	61	63	62	64	64	64
KGX	15	20	25	40	63	100	160	250	400	630	800	1000
KGXD avec ou sans by-pass interne												
$\Delta\Phi_1$ [%]	+4		+3		+2		+1		±0		-1	
$\dot{V}_{AN} / \dot{V}_{NL}$	0,5		0,6		0,7		0,8		1,0		1,1	1,2
$\Delta\Phi_2$ [%]	+15	+10	+5		0	-5	-10	-15	-20	-25		
$\dot{V}_{AN} / \dot{V}_{AE}$	0,4	0,6	0,8		1	1,2	1,4	1,6	1,8	2		



Exemple:
 KGX 100
 Débit d'air nominal \dot{V}_{NL} = 10 000 m³/h
 Débit d'air neuf \dot{V}_{AN} = 7 000 m³/h
 Temp. d'entrée air neuf t_{AN} = -3° C
 Débit d'air repris \dot{V}_{AE} = 5 830 m³/h
 Temp. d'entrée air repris t_{AE} = +22° C
 Teneur en eau air repris r_{AE} = 12 g/kg

$\dot{V}_{AN} / \dot{V}_{NL} = 0,7$
 $\dot{V}_{AN} / \dot{V}_{AE} = 1,2$

$\Delta\Phi_0 = 62 \%$
 $\Delta\Phi_1 = + 2 \%$
 $\Delta\Phi_2 = - 5 \%$
 $\Delta\Phi_3 = + 12 \%$ } $\Phi = 71 \%$

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

DOCUMENT REPONSE : DR 10
Autres caractéristiques du récupérateur de chaleur



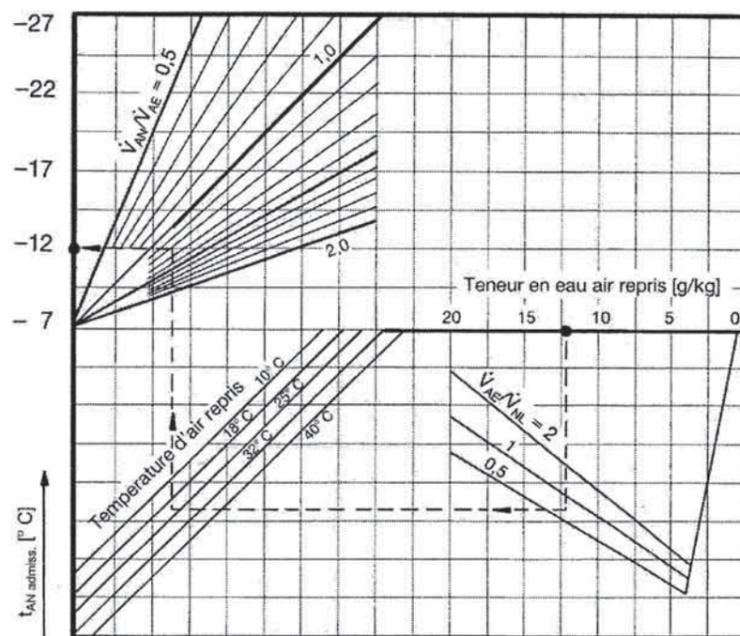
Température maximum d'entrée d'air:
+ 80 °C, sur demande 150 °C

Température minimum d'entrée d'air neuf
admissible $t_{AN\ admis.}$

Pour éviter la formation de givre sur
les plaques de l'échangeur, il ne faut
pas dépasser la température minimum
d'entrée d'air admissible.

Exemple:

Débit d'air neuf \dot{V}_{AN} /Débit d'air repris
 $\dot{V}_{AE} = 1,2$
Débit d'air repris \dot{V}_{AE} /Débit d'air nominal
 $\dot{V}_{NL} = 0,7$
Teneur en eau air repris r_{AE}
= 12 g/kg
Température d'air repris $t_{AE} = + 22 °C$
d'après le diagramme: $t_{AN\ admis.} = - 12 °C$



Perte de charge Δp [Pa]

KGX/KGXD: avec ou sans bypass interne

avec éliminateur de gouttes
diagramme $\times 1,20$

$\dot{V}_{AN}/\dot{V}_{NL}$ OU $\dot{V}_{AE}/\dot{V}_{NL}$	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2
KGX/KGXD 15-100	60	80	100	200	300	400	500	600	Pa
KGX/KGXD 160-1000	40	60	80	100	200	300	400	Pa	

**Différence de pression maximale
admissible Δp_m max.** entre les deux flux d'air

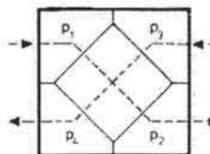
Δp_m max. = 600 Pa
 Δp_m max. = 2000 Pa sur demande

Différence de pression moyenne

Δp_m entre les deux
flux d'air:

$$\Delta p_m = \frac{1}{2} \cdot (p_1 + p_2 - p_3 - p_4)$$

Exemple:



$p_1 = 350$ Pa
 $p_2 = 200$ Pa
 $p_3 = - 100$ Pa
 $p_4 = - 200$ Pa

$$\Delta p_m = 425$$
 Pa

Entretien

Si l'échangeur est encrassé la perte de charge de l'air augmente et le rendement diminue.
Nettoyage à l'air comprimé ou avec un jet d'eau ou de vapeur.

NE RIEN ÉCRIRE

DANS CE CADRE

DOCUMENT REPONSE : DR 11
Points caractéristiques du traitement d'air

Conditions de base hiver					
Points	Température sèche [°C]	Hygrométrie %	Enthalpie spécifique [kJ/kgas]	Teneur en humidité [kge/kgas]	Volume spécifique [m ³ ah/kgas]
E					
1					
2					
S					

Conditions de base été					
Points	Température sèche [°C]	Hygrométrie %	Enthalpie spécifique [kJ/kgas]	Teneur en humidité [kge/kgas]	Volume spécifique [m ³ ah/kgas]
E					
1					
2					
S					
L					

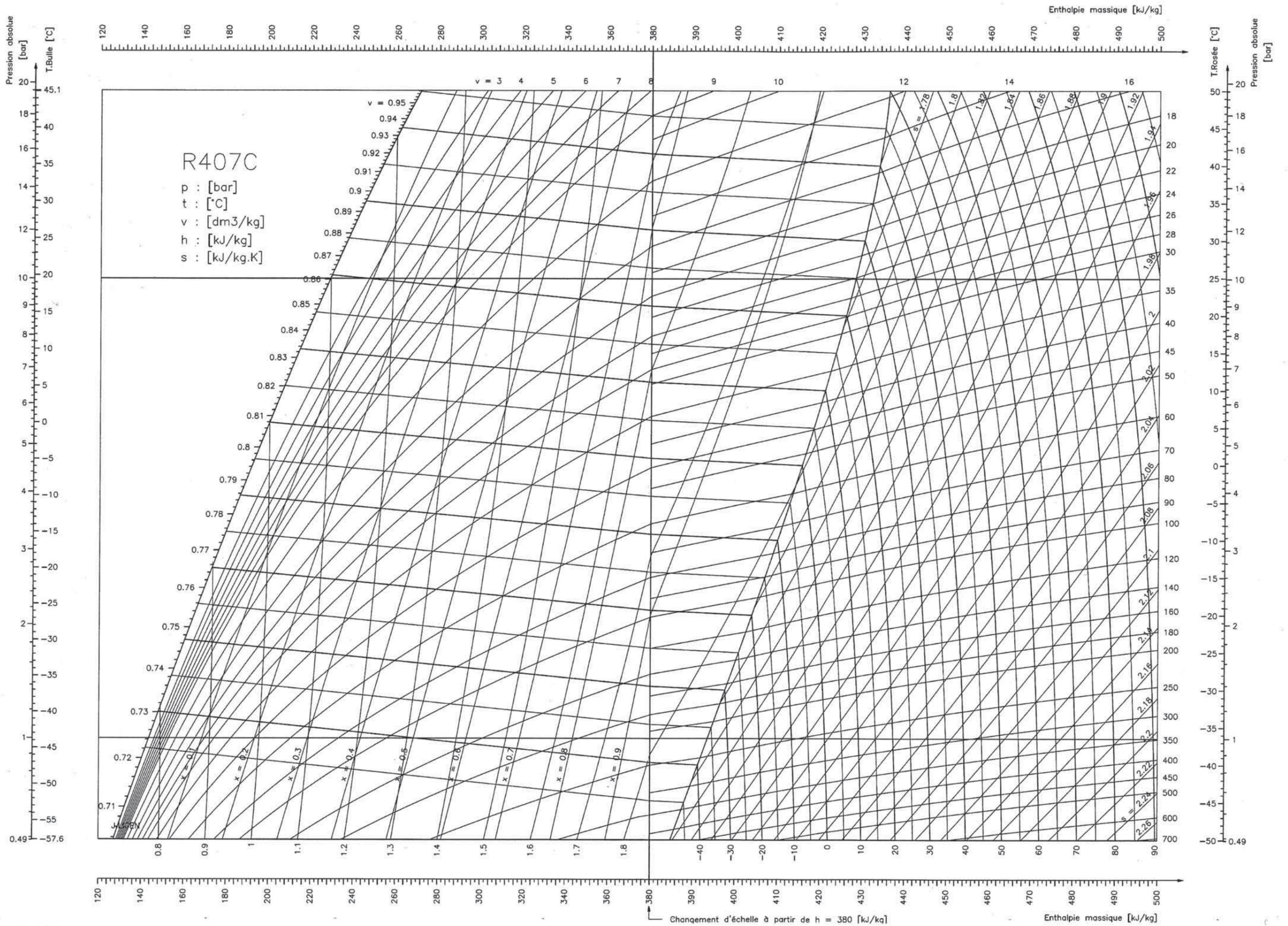


DIAGRAMME DE L'AIR HUMIDE

PRESSION ATMOSPHERIQUE : 101325 [Pa] ALTITUDE : 0 [m]

