

SESSION 2013

---

**CAPLP  
CONCOURS EXTERNE  
ET CAFEP**

**Section : GÉNIE CIVIL  
Option : ÉQUIPEMENTS TECHNIQUES - ÉNERGIE**

**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 : 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.**

# Consignes générales

Le sujet est composé de 3 parties complètement indépendantes.  
Chaque partie devra être traitée sur une copie différente.

Le sujet se décompose en 2 dossiers :

- le premier avec le travail demandé,
- le second avec les documents réponses (DR).

Il est conseillé de consacrer du temps à chaque partie suivant son importance d'après le graphique suivant :



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.

## DOCUMENTS A RENDRE :

- une feuille par partie
- l'ensemble des documents réponses

**Remarque :** toutes les pages devront être numérotées.





Section : GÉNIE CIVIL

Option : ÉQUIPEMENTS TECHNIQUES - ÉNERGIE

ÉPREUVE DE SYNTHÈSE

INFORMATION AUX CANDIDATS

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

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

► **Concours externe du CAPLP de l'enseignement public :**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EFE	3100J	101	5850

► **Concours externe du CAFEP/CAPLP de l'enseignement privé :**

Concours	Section/option	Epreuve	Matière
EFF	3100J	101	5850

## Présentation de l'étude

**Votre étude porte sur un immeuble de bureaux situé dans la Marne (51).**

Les conditions extérieures de base sont :

- l'été : 30°C / 40%
- l'hiver : - 10°C / 90%

Les conditions intérieures de base sont :

- l'été : 26°C / 50%  $\pm$  10%
- l'hiver : 19°C / 50%  $\pm$  10%

Les locaux sont climatisés à l'aide de poutres climatiques actives (encore appelées poutres froides), alimentées en air neuf (ANF) pré-traité (FOU) par une CTA (c'est-à-dire ramené aux conditions intérieures aussi bien l'été que l'hiver), et composées d'une batterie chaude et d'une batterie froide (cf. DR01).

La production d'énergie est réalisée de la façon suivante :

- la **production de chaleur** (150 m<sup>3</sup>/h ; régime 45/40°C) est obtenue par le biais d'une pompe à chaleur sur nappe phréatique :
  - ✗ il est pompé 30 m<sup>3</sup>/h d'**eau de forage** sous un régime **12/6°C** qui fournit ses calories à un circuit fermé par l'intermédiaire d'un échangeur (débit d'eau au secondaire : 30 m<sup>3</sup>/h ; régime 5/10°C),
  - ✗ ce circuit fermé fournit ses calories à la PAC.
- la **production d'eau glacée** (60 m<sup>3</sup>/h ; 15/19°C) est obtenue par le biais d'un échangeur à plaques échangeant avec l'**eau de la nappe phréatique (12/18°C)**.
- une **CTA fonctionnant en tout air neuf** assure le chauffage en hiver et le refroidissement en été de l'air neuf jusqu'aux conditions ambiantes :
  - ✗ débit d'air neuf (ANF) : 4700 m<sup>3</sup>/h ( $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$ ).
  - ✗ débit repris (REP) : 4200 m<sup>3</sup>/h (le complément est extrait par une VMC simple flux indépendante qui ne sera pas étudiée).
  - ✗ puissance de la batterie chaude : à *déterminer* (régime d'eau 45/40°C)
  - ✗ puissance de la batterie froide : 32 kW (régime d'eau 15/19°C)
  - ✗ un récupérateur de chaleur rotatif a été mis en place.

Dans cette étude, nous allons nous intéresser :

- à la compréhension du dispositif étudié
- à la production frigorifique
- à la production calorifique

# Travail demandé

## Partie I – Analyse du cahier des charges

### Question 1 - Schéma de principe

Complétez le document réponse DR01 en affichant les températures dans les bulles et les débits dans les cadres, et le nom des appareils à la place des pointillés.

### Question 2 - Fonctionnement

- a) Tracez sur le document réponse DR01 **en rouge** les circuits hydrauliques utilisés en mode **chauffage**.
- b) Tracez sur le document réponse DR01 **en bleu** les circuits hydrauliques utilisés en mode **refroidissement**.
- c) Expliquez pourquoi il n'a pas été choisi d'utiliser la PAC en mode rafraîchissement pour alimenter la batterie froide.

### Question 3 - Hydraulique

- a) Expliquez l'intérêt de mettre un échangeur à plaques entre l'eau du puits et la pompe à chaleur.
- b) Positionnez sur le circuit alimentant la batterie chaude (DR02) les éléments de sécurité et de bon fonctionnement nécessaires. Vous ferez une nomenclature dans laquelle vous expliquerez le rôle de ces éléments.
- c) Indiquez le type de montage de la vanne 3 voies alimentant la batterie chaude ainsi que le type de vanne trois voies dont il s'agit.

## Partie II – Étude de la production d'eau glacée

La production frigorifique est assurée par le biais d'un échangeur à plaques entre l'eau de forage et le circuit d'eau glacée. Elle permet d'assurer la production de la batterie froide de la CTA et des batteries froides des poutres climatiques.

Données complémentaires :

- masse volumique de l'eau de forage et de l'eau glacée :  $1000 \text{ kg/m}^3$
- capacité thermique massique de l'eau de forage et de l'eau glacée :  $4,185 \text{ kJ/(kg.}^\circ\text{C)}$

### Question 1 - Caractéristiques de l'échangeur

- Déterminez la puissance frigorifique nécessaire au secondaire de l'échangeur à plaques.
- Déterminez alors le débit nécessaire au primaire de l'échangeur si le rendement de ce dernier vaut 98%. Comparez aux données fournies par le bureau d'études concernant l'alimentation de la PAC (lors de la production de chaleur) et proposez une démarche à suivre.
- Le bureau d'études a pris une petite marge de sécurité et choisi un échangeur de 290 kW avec un coefficient d'échange thermique de  $2100 \text{ W/(m}^2\cdot^\circ\text{C)}$ . Déterminez la surface d'échange nécessaire et sélectionnez l'échangeur approprié dans la liste suivante :



Modèle (=nombre de plaques)	S (m <sup>2</sup> )	Hauteur (mm)	largeur (mm)
50	75	1189	416
80	98		
110	133		
170	203		

### Question 2 - Vanne 3 voies

Les pertes de charge ont été évaluées à :

- ✖ Echangeur à plaques : 25 kPa
- ✖ Batterie froide : 17 kPa
- ✖ Réseaux hydrauliques : négligées

- Déterminez et justifiez la perte de charge que doit avoir la vanne 3 voies grande ouverte afin d'avoir une autorité de 0,5.
- Sélectionnez la vanne 3 voies la plus appropriée (cf. DR03) et vérifiez son autorité.

### Question 3 – Evolutions de l'air (cf. DR04)

#### Evolution estivale :

- a) En considérant que les caractéristiques de l'air à l'entrée de la batterie froide sont de 27°C/60%, et sachant que son efficacité est de 72%, déterminez au régime de fonctionnement nominal les caractéristiques ( $\theta$  et  $\varphi$ ) de l'air à la sortie de la batterie froide.
- b) Déterminez le débit de condensat à évacuer (en kg/h).
- c) Un siphon a été mis en place sur ce circuit d'évacuation. Quel en est l'intérêt ? La pression dans la CTA est de 20 Pa inférieure à la pression atmosphérique. Déterminez la garde d'eau minimale. Réalisez un schéma explicatif coté.

Evolution hivernale :  $\theta_{ANF} = -10^{\circ}\text{C}$  ;  $\varphi_{ANF} = 90\%$   
 $\theta_{INT} = 19^{\circ}\text{C}$  ;  $\varphi_{ANF} = 50\%$

- d) Sachant que l'efficacité du récupérateur est de 90% (on supposera qu'il n'y a pas de transfère d'humidité), déterminez la température de l'air neuf en sortie du récupérateur. Réalisez alors le tracé correspondant.
- e) Si on fonctionne de cette façon, l'air vicié se refroidit jusqu'à une température négative. Quels sont les risques encourus et les solutions possibles ?
- f) En considérant alors que l'air sortant du récupérateur se trouve à 0°C/40%, déterminez la puissance de la batterie chaude.

### Question 4 – Problèmes de condensation

L'échangeur à plaques qui alimente la PAC, qu'on assimilera à un parallélépipède rectangle de dimensions 1189×416×235mm, sera supposé par simplification à une température uniforme de 8°C en surface.

- a) Les conditions ambiantes dans le local technique varient de 10°C/40% à 20°C/60% tout au long de l'année. Après justifications, indiquez s'il y a des risques de condensation.
- b) Par soucis d'économie d'énergie entre autre, l'échangeur a été recouvert d'un calorifuge de 18mm d'épaisseur et de conductivité thermique  $\lambda = 0,038 \text{ W}/(\text{m}\cdot^{\circ}\text{C})$ . Le coefficient d'échange superficiel sera pris égale à  $8 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot^{\circ}\text{C})$ . Déterminez la température obtenue sur la surface externe du calorifuge pour une ambiance de 20°C/60%. Y-a-t-il risque de condensation ?

## Partie III – Étude de la production de chaleur

La production de chaleur est assurée par une pompe à chaleur eau-eau (PAC de 872 kW) fonctionnant au R410a.

Elle permet d'assurer la production de la batterie chaude de la CTA et des batteries chaudes des poutres climatiques.

Lors de la mise en service de la PAC, le technicien de maintenance a relevé les caractéristiques suivantes sur le fluide frigorigène :

- HP : 29 bar (lue au manomètre)
- BP : 9 bar (lue au manomètre)
- Température entrée compresseur : 14°C
- Température sortie compresseur : 82°C
- Température entrée détendeur : 46°C



### Données complémentaires :

- masse volumique de l'eau de chauffage : 1000 kg/m<sup>3</sup>
- capacité thermique massique de l'eau de chauffage : 4,185 kJ/(kg.°C)

### Question 1 – Etude de la PAC

- Tracez sur le diagramme enthalpique du R410a (cf. DR05) le cycle observé lors de la mise en service. Indiquez la température d'évaporation, la surchauffe et le sous-refroidissement obtenus.
- Déterminez le COP théorique obtenu.
- Déterminez le débit massique de fluide frigorigène (hyp :  $\eta_{\text{échang}}=100\%$ ). Déduisez-en le débit volumique à la sortie de l'évaporateur.
- En réalité, la PAC est composée de 6 compresseurs SCROLL hermétiques en triphasé (400V) consommant chacun 74 A ( $\cos \varphi = 0,83$ ), déterminez le rendement de ces compresseurs.
- Déterminez le taux de compression  $\tau$  de ces compresseurs. Déduisez-en le débit brassé par les compresseurs sachant que  $\eta_v = 1 - 0,04 \cdot \tau = \frac{q_{v\text{aspiré}}}{q_{v\text{brassé}}}$ .
- Si la température d'évaporation, qui est fonction notamment de l'eau de forage, diminue jusqu'à 0°C (en supposant une surchauffe de 7°C), déduisez-en la perte sur le débit massique aspiré en pourcentage.

## Question 2 – Etude de la pompe de forage

- a) Sachant que :
- ✗ le niveau de la nappe se situe à -32 m,
  - ✗ lors du puisage, le niveau de la nappe au point de puisage baisse de 12 m,
  - ✗ le rejet se fait au niveau du sol naturel
  - ✗ les pertes de charge du réseau ont été estimées à 235 kPa
  - ✗ les diamètres d'aspiration et de refoulement sont identiques

On vous demande de déterminer les caractéristiques à l'aide de l'équation de Bernoulli puis de sélectionner la pompe la plus appropriée dans le document joint (cf. DR06).

- b) En réalité, le bureau d'études a préféré sur-dimensionner et donc a choisi une pompe immergée Salmson IC 6-3514-15. Après avoir justifié le choix d'une pompe immergée, déterminez le point de fonctionnement réellement obtenu (cf. DR06) sachant que les calculs avaient donné une  $H_{m_t}$  de 68mCE pour un débit de 30 m<sup>3</sup>/h. Quelle est la surpuissance engendrée ?

## Question 3 – Régulation

- a) On souhaite réguler la température de départ de la PAC en fonction des conditions extérieures. Tracez cette loi (DR07).
- b) Déterminez la pente qu'il faudra régler sur le régulateur.
- c) Dans la pratique, le réseau a été séparé en deux, avec un régulateur chacun : le bâtiment étant rectangulaire et exposé sud, il y a un réseau Sud-Est et un réseau Sud-Ouest. Quel(s) intérêt(s) mettez-vous en valeur à cette conception ?

## Question 4 – Acoustique

- a) Connaissant les niveaux de puissance acoustique du groupe frigorifique (cf.DR08), déterminez le niveau de pression acoustique à 2m (coefficient de directivité = 2) en dB<sub>A</sub>.

$$\text{Donnée : } L_p = L_w + \log\left(\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4}{R}\right)$$

- b) Que pensez-vous du niveau NR atteint vis-à-vis du local technique ?

<b>Nom :</b> <i>(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'épouse)</i>	<input type="text"/>																							
<b>Prénom :</b>	<input type="text"/>																							
<b>N° d'inscription :</b>	<input type="text"/>								<b>Né(e) le :</b>	<input type="text"/>		/	<input type="text"/>		/	<input type="text"/>								

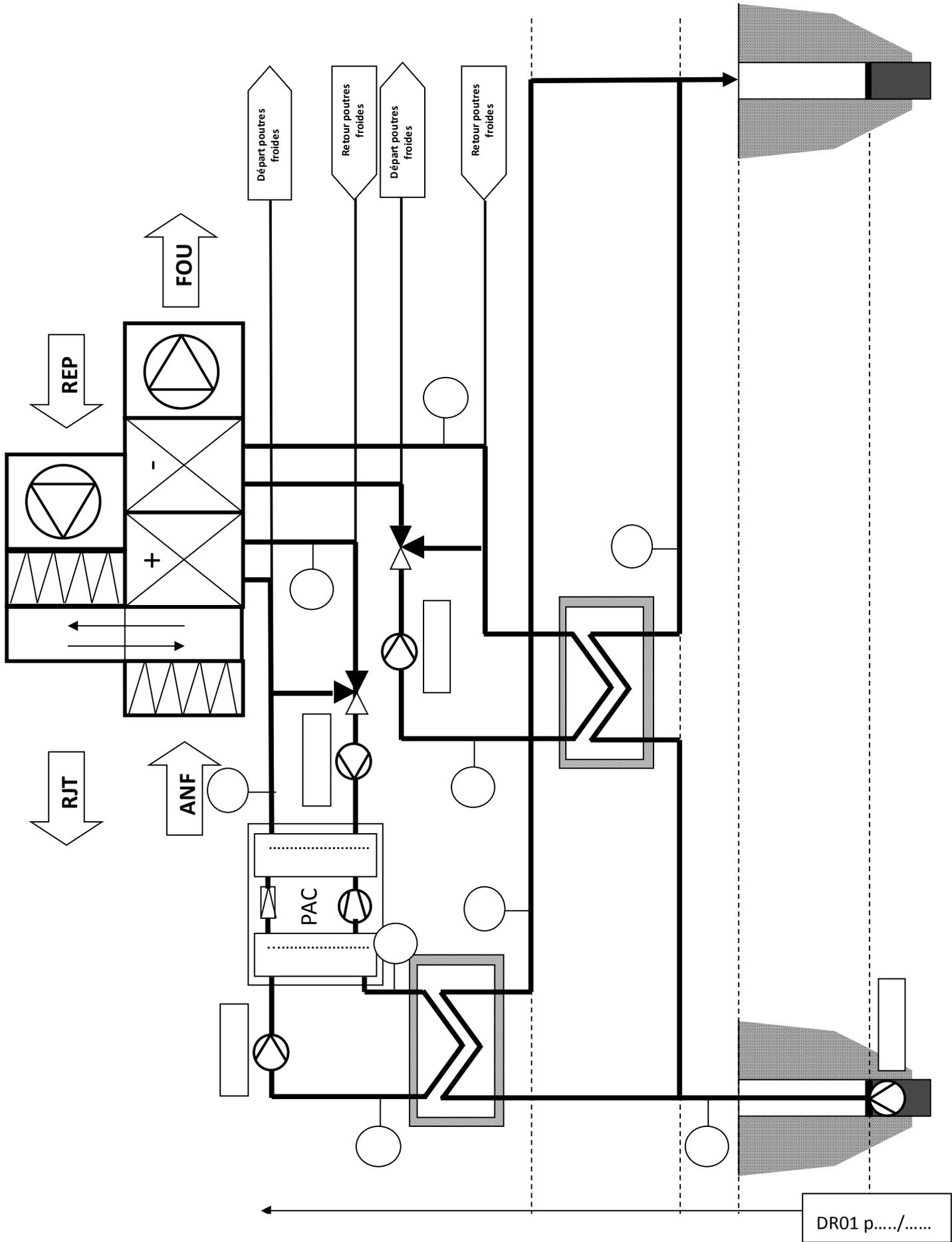
*(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la feuille d'émargement)*

<input type="checkbox"/>	<b>Concours</b>	<input type="text"/>	<b>Section/Option</b>	<input type="text"/>	<b>Epreuve</b>	<input type="text"/>	<b>Matière</b>	<input type="text"/>
--------------------------	-----------------	----------------------	-----------------------	----------------------	----------------	----------------------	----------------	----------------------

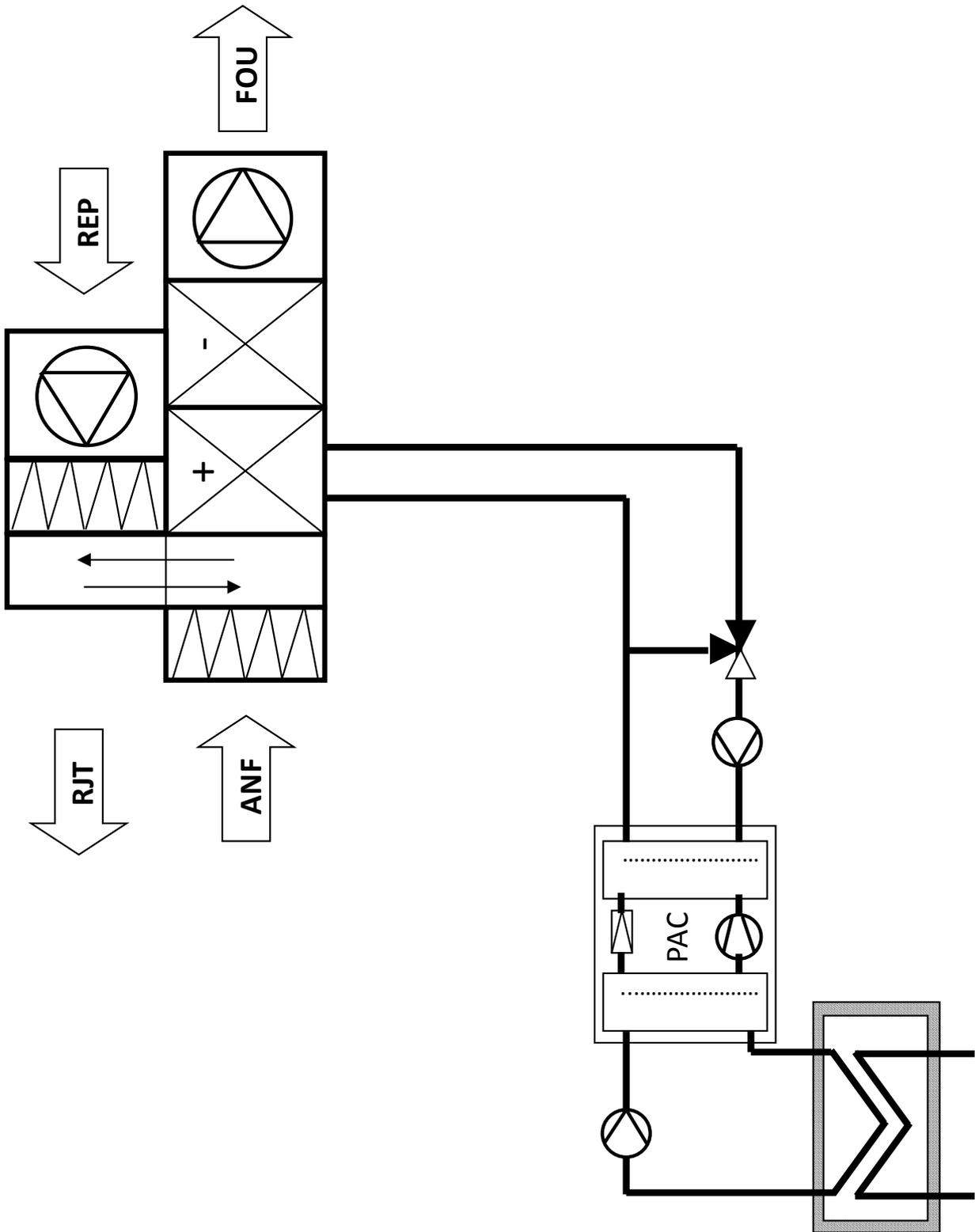
EFE GCE 1

# DR 01 - DR 02 - DR 03

# DR01 – Schéma de l'installation



DR02 – Circuit PAC



DR02 p...../.....

# DR03 - Choix de la vanne 3 voies

## PN6, PN16/ 10

Vannes à brides VUD/BUD et VUE/BUE en fonte grise.  
Servomoteurs AVM, AVF et AVN à course jusqu'à 40 mm.



Modèle		AVM	AVF		AVN	
Type		234S	234S		224S	
Version		F132	F132	F232	F132	F232
Tension	24 V AC	●	●	●	●	●
	24 V DC	●	●	●	●	●
	230 V AC avec accessoires 372232 001	●	●	●	●	●
	100 V AC avec accessoires 372232 002	●	●	●	●	●
Poussée	2500 N	●				
	2000 N		●	●		
	1100 N				●	●
Temps de course	2 s / 4 s / 6 s par mm	●	●	●	●	●
Temps de retour	15...30 s		●	●	●	●
Signal de réglage	2 points	●	●	●	●	●
	3 points	●	●	●	●	●
	0...10 V	●	●	●	●	●
	4...20 mA	●	●	●	●	●
Courbe caractéristique	exponentielle	●	●	●	●	●
	linéaire	●	●	●	●	●
	quadratique	●	●	●	●	●
Ressort de rappel	normalement fermé		●		●	
	normalement ouvert			●		●

\* Commande continue 0...10 V ou 4...20 mA également possible

Vannes à brides en fonte grise, PN6, à courbe caractéristique exponentielle (F300) ou linéaire (F200)

Type	DN	Kvs (m³/h)	Δp <sub>max</sub> (bar)				
Vanne de passage -10 °C...150 °C	VUD065F300 / F200	65	49 / 63	3	3	-	-
	VUD080F300 / F200	80	78 / 100	3	3	-	-
	VUD100F300 / F200	100	124 / 160	2	2	-	-
Vanne 3 voies -10 °C...150 °C	BUD065F300 / F200	65	49 / 63	3	3	3	-
	BUD080F300 / F200	80	78 / 100	3	3	3	-
	BUD100F300 / F200	100	124 / 160	2	2	2	-

Vannes à brides en fonte grise, PN16/ 10, à courbe caractéristique exponentielle (F300) ou linéaire (F200)

Type	DN	Kvs (m³/h)	Δp <sub>max</sub> (bar)				
Vanne de passage -10 °C...150 °C	VUE065F300 / F200	65	49 / 63	3	3	2,6	
	VUE080F300 / F200	80	78 / 100	3	3	1,8	
	VUE100F300 / F200	100	125 / 160	2	2	1,1	
	VUE125F300 / F200	125	200 / 240	1,5	1,4	0,7	
	VUE150F300 / F200	150	300 / 320	1	1	0,6	
Vanne 3 voies -10 °C...150 °C	BUE065F300 / F200	65	49 / 63	2	3	3	2,6
	BUE080F300 / F200	80	78 / 100	3	3	3	1,8
	BUE100F300 / F200	100	125 / 160	2	2	2	1,1
	BUE125F300 / F200	125	200 / 240	1,5	1,4	1,4	0,7
	BUE150F300 / F200	150	300 / 320	1	1	1	0,6

Accessoires importants pour vannes à brides et servomoteurs

Type	Description
0372240 001	Commande manuelle pour vannes à course 8 mm
0372249 001	Adaptateur de température >100 °C à 130 °C pour vannes à course de 8 mm
0372249 002	Adaptateur de température >100 °C à 150 °C pour vannes à course de 8 mm
0372336 180	Pièce intermédiaire requise pour fluides >130 °C, à partir de DN 65 pour vannes à course de 20 ou 40 mm
0372336 240	Pièce intermédiaire requise pour fluides >180 °C, à partir de DN 65 pour vannes à course de 20 ou 40 mm
0378284 100	Chauffage pour presse-étoupe 230 V, 15 W, pour fluides au-dessous de 0 °C, adapté à toutes les vannes
0378284 102	Chauffage pour presse-étoupe 24 V, 15 W, pour fluides au-dessous de 0 °C, adapté à toutes les vannes
0313529 001	Unité domaine partiel pour mode séquentiel, adaptable à tous les servomoteurs
0372332 001	Module enf chable pour tension d'alimentation 230 V et commande 2 ou 3 points, accessoire pour servomoteurs à course de 40 mm
0372332 002	Module enf chable pour tension d'alimentation 100 V et commande 2 ou 3 points, accessoire pour servomoteurs à course de 40 mm
0372333 001	2 contacts de commutation auxiliaires, réglables en continu, charge 6 (2)A, accessoire pour servomoteurs à course de 40 mm
0372334 001	Potentiomètre 2000 Ω, 1 W, accessoire pour servomoteurs à course 40 mm
0372334 002	Potentiomètre 130 Ω, 1 W, accessoire pour servomoteurs à course 40 mm
0372334 006	Potentiomètre 1000 Ω, 1 W, accessoire pour servomoteurs à course 40 mm
0372462 001	Outil PC Case Drives pour configuration des servomoteurs par ordinateur



DR03 p...../.....

<b>Nom :</b> <i>(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'épouse)</i>	<input type="text"/>																							
<b>Prénom :</b>	<input type="text"/>																							
<b>N° d'inscription :</b>	<input type="text"/>								<b>Né(e) le :</b>	<input type="text"/>		/	<input type="text"/>		/	<input type="text"/>								

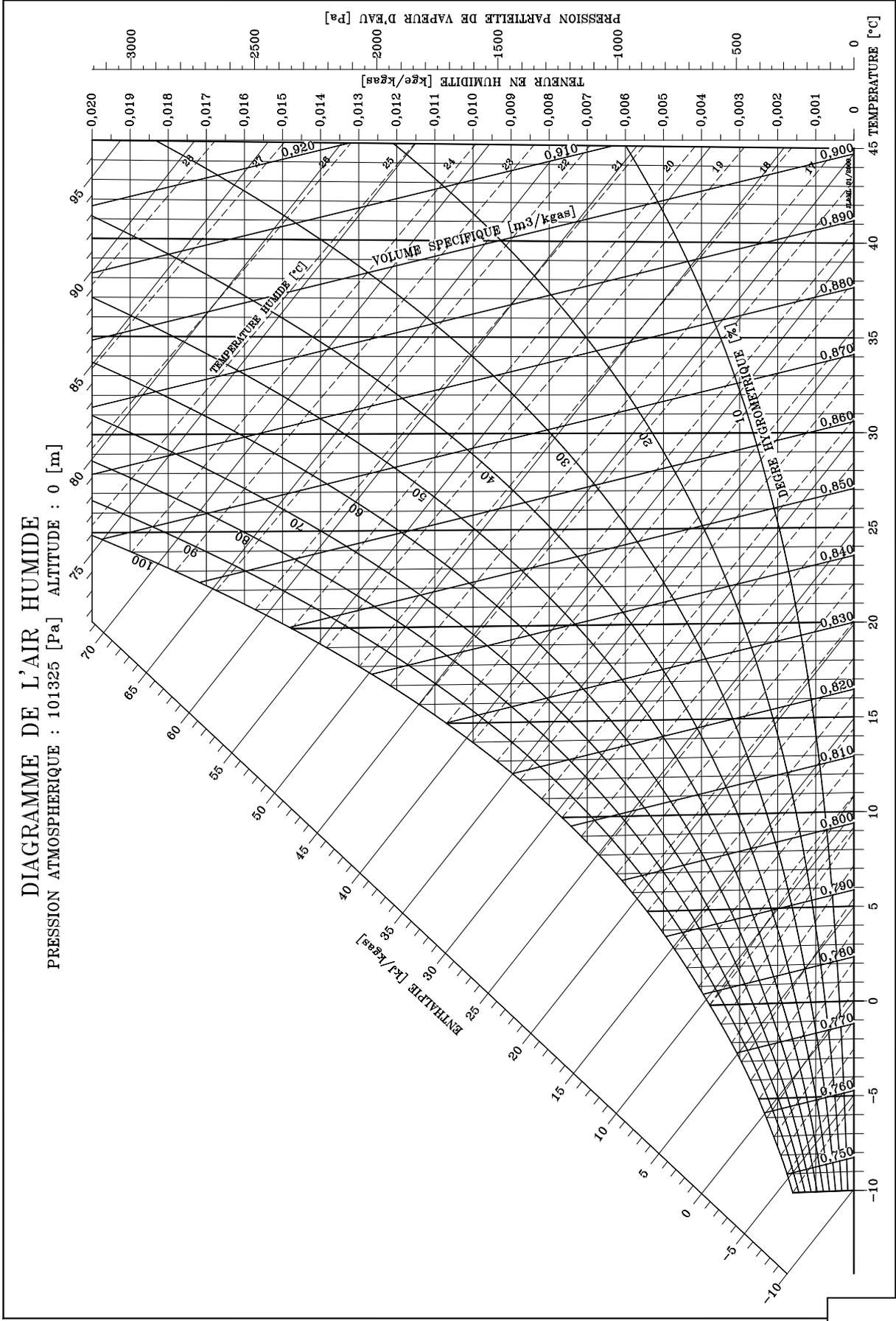
*(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la feuille d'émargement)*

<b>Concours</b>	<b>Section/Option</b>	<b>Epreuve</b>	<b>Matière</b>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

EFE GCE 1

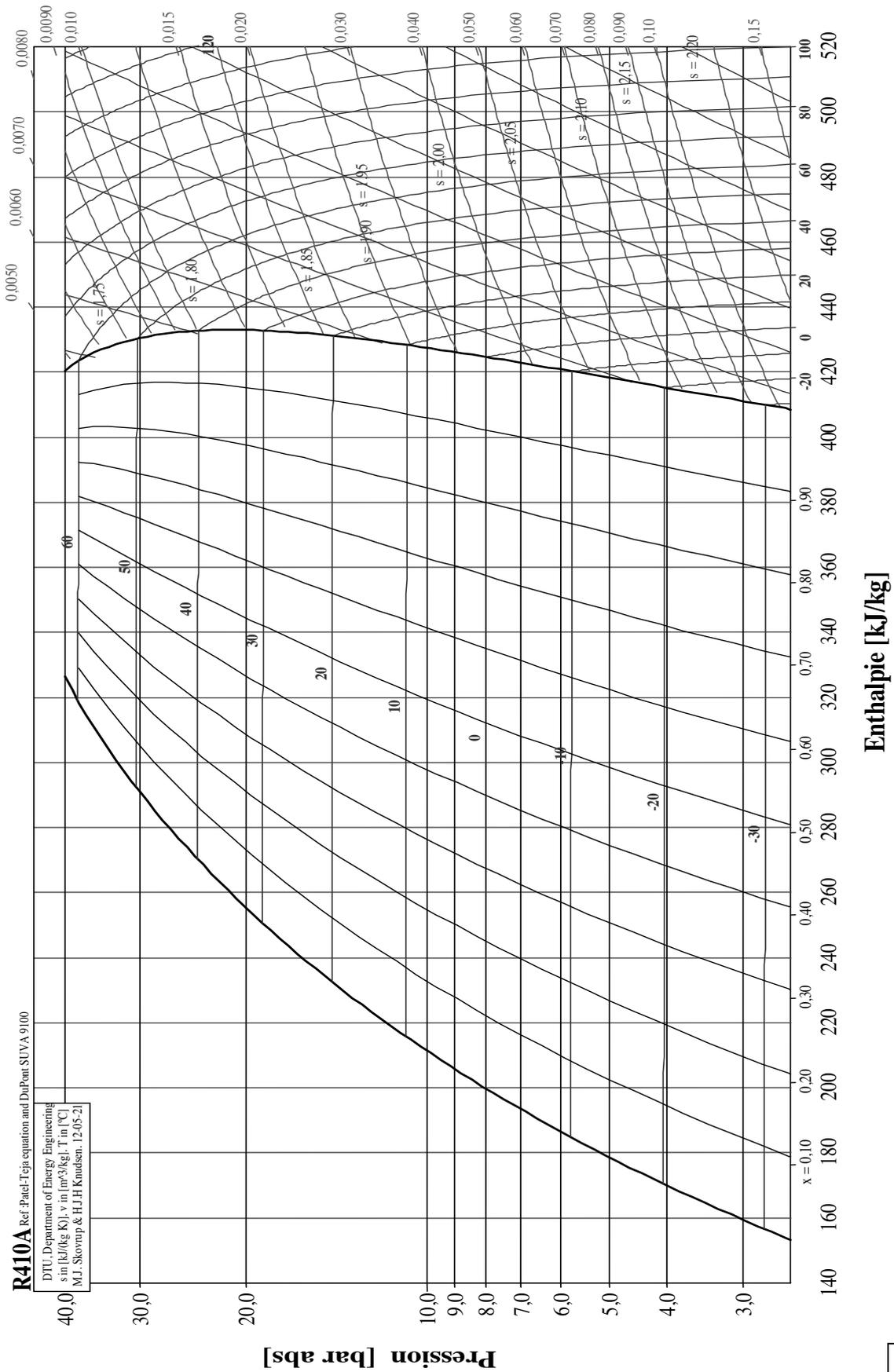
**DR 04 - DR 05 - DR 06**

# DR04 – Diagramme de l'air humide



DR04 p...../.....

# DR05 – Diagramme enthalpique du R410a

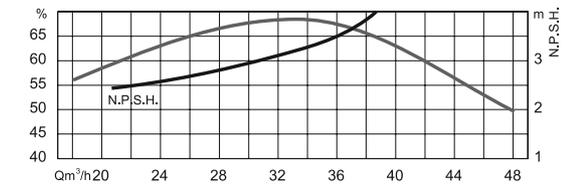
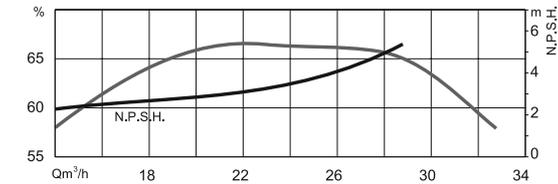
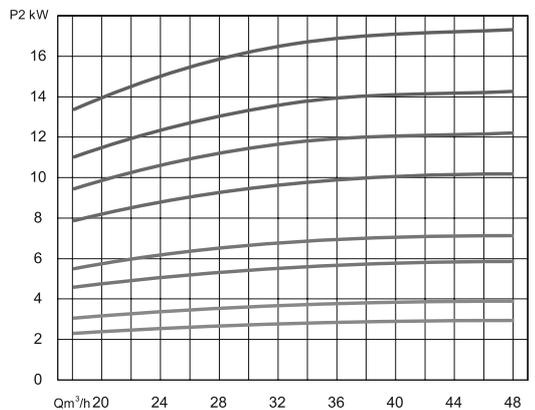
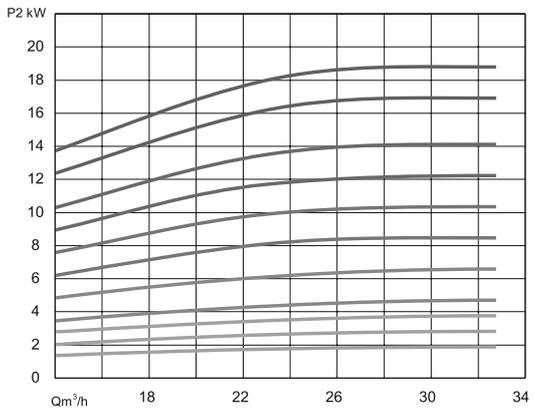
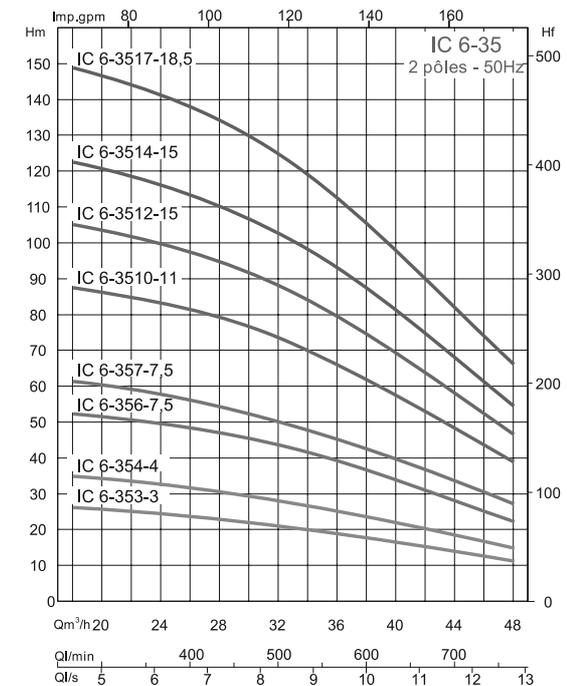
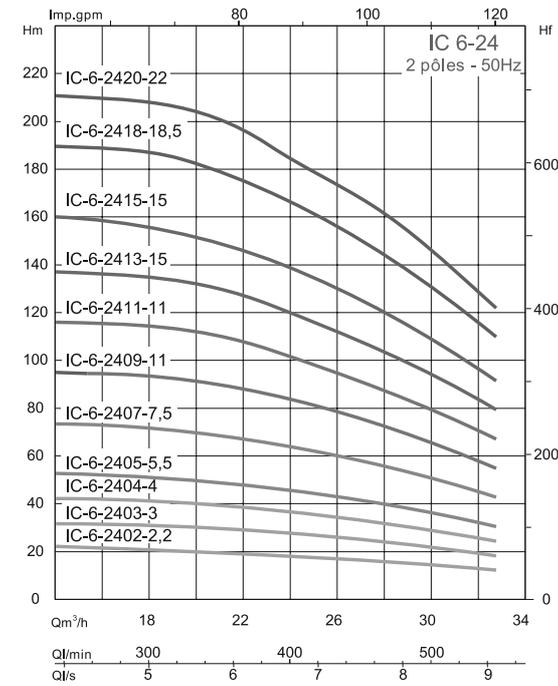


DR05 p...../.....

# DR06 - Choix de la pompe

IC 6-8

## PERFORMANCES HYDRAULIQUES



DR06 p...../.....

<b>Nom :</b> <i>(Suivi, s'il y a lieu, du nom d'épouse)</i>	<input type="text"/>																							
<b>Prénom :</b>	<input type="text"/>																							
<b>N° d'inscription :</b>	<input type="text"/>								<b>Né(e) le :</b>	<input type="text"/>		/	<input type="text"/>		/	<input type="text"/>								

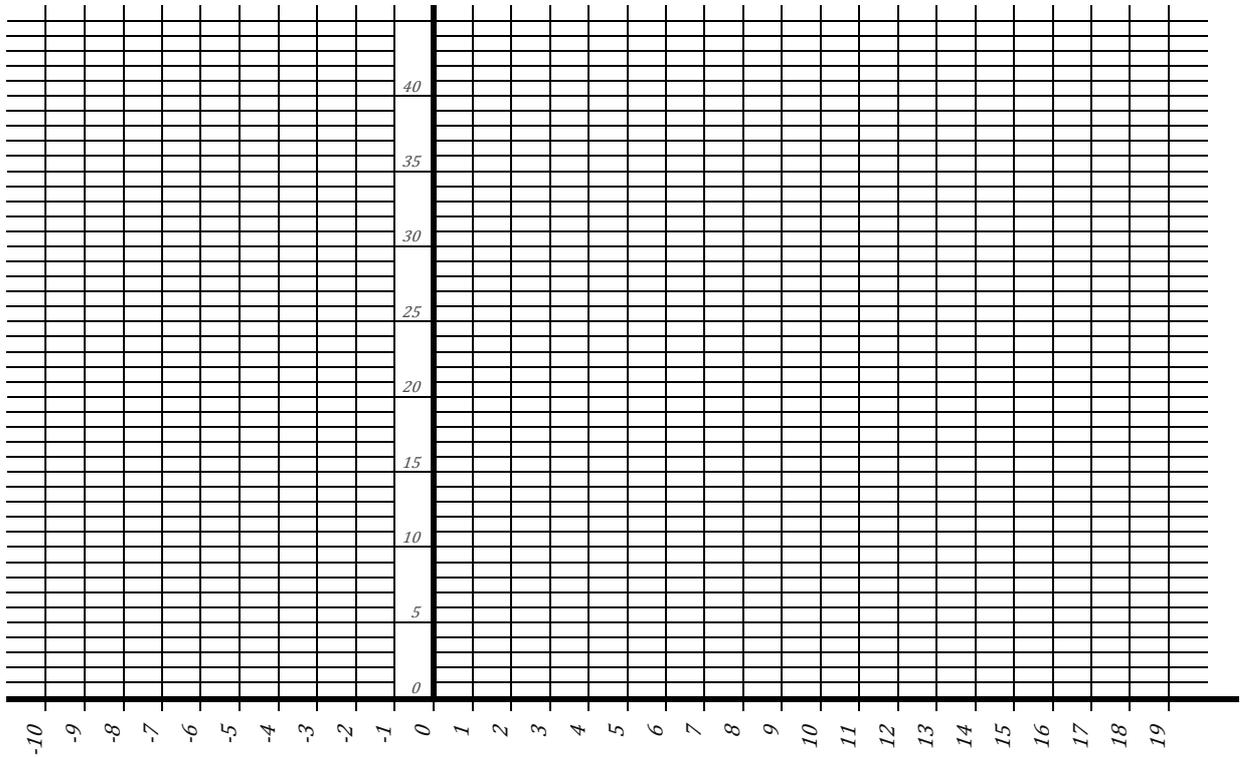
*(Le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la feuille d'émargement)*

■	<b>Concours</b>	<b>Section/Option</b>	<b>Epreuve</b>	<b>Matière</b>
	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

EFE GCE 1

# DR 07 - DR 08

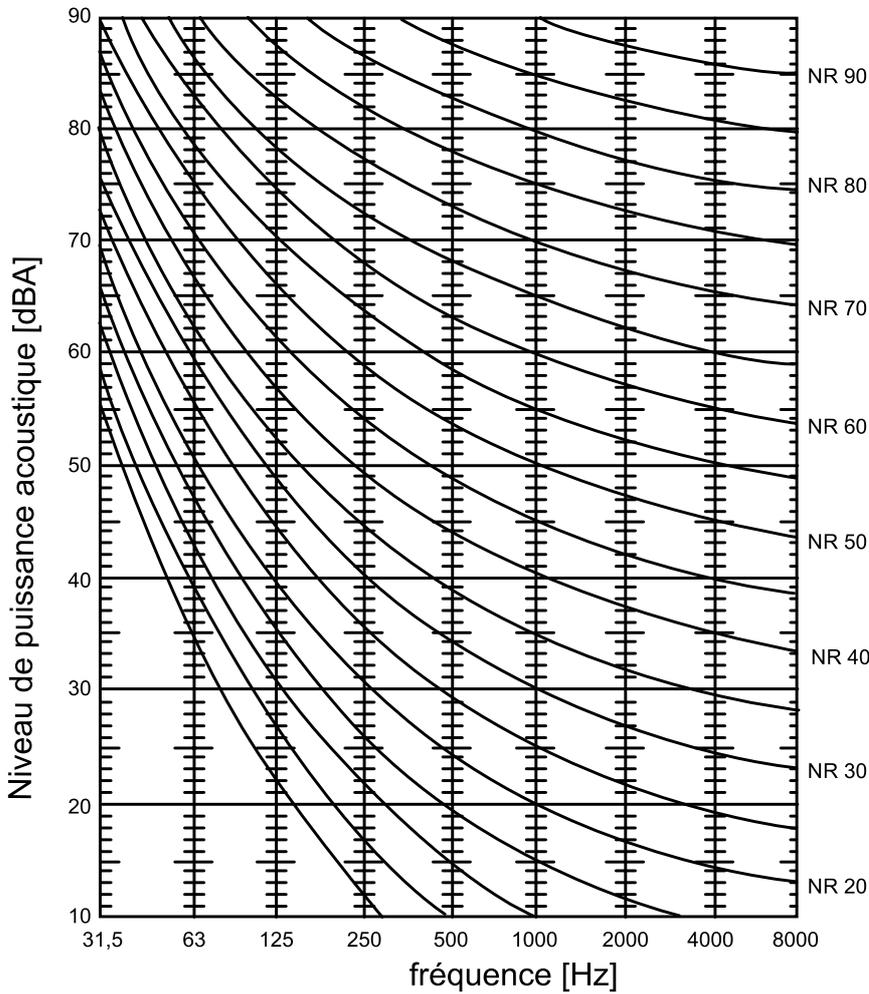
DR07 - Loi de chauffe



DR07 p...../.....

# DR08 - Acoustique

	125Hz	250Hz	500Hz	1000Hz	2000Hz	4000Hz
Spectre de niveau de puissance (dB) de la PAC	89	87	87	81	80	79
Pondération dB <sub>A</sub>	-16,1	-8,6	-3,2	0	+1,2	+1,0
R	14	21	39	45	49	58



Type de local	Niveau de pression acoustique	
	Exigence haute dB(A)	Exigence basse dB(A)
Local de restauration Restaurant d'entreprise Restaurant, cafétéria	35 35	50 45
Salle de rencontre Foyer, salle fumeur	35	45
Salle de réunion	30	40
Local sportif Piscine sportive, patinoire Piscine ludique Salle de relaxation Salle EPS Gymnase Grande salle, palais sports	40 45 30 35 40 40	45 50 35 45 50 50
Lieu de passage Atrium Galerie marchande	40 45	50 55
Hall d'aéroport	40	50
Hall de gare, hall d'exposition	45	55
Magasin de vente	40	50
Lieu de culte, église	30	45
Musée	30	40

DR08 p...../.....

