

**BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR
FLUIDES ÉNERGIES DOMOTIQUE**

U.41 ANALYSE ET DÉFINITION D'UN SYSTÈME

SESSION 2020

Éléments de correction

PREMIÈRE PARTIE : Découverte du projet et contexte réglementaire
Temps conseillé : (75 minutes)

A) Appropriation du projet (questions 1.1 à 1.2)

Question 1.1.

Un dossier de type DCE a été élaboré, il est constitué en particulier des éléments suivants :

- jeu de plans (archi, CVC)
- CCAG/ CCAP (cahiers des clauses administrative générales et particulières).
- CCTP (cahier des clauses techniques particulières).
- Quelle pièce importante manque-t-il au dossier DCE parmi les documents précédemment décrits afin que les entreprises puissent chiffrer l'appel d'offre ?
- Lors d'une réponse à l'appel d'offre, qu'appelle-t-on le 'moins disant' ?
- Qu'appelle-t-on le 'mieux disant' ?

**DPGF (décomposition des prix globales et forfaitaire) envoyée afin d'être complétée par l'entreprise qui réalise le chiffrage du projet.
Ou DQE (devis quantitatif estimatif) acceptée.**

Moins disant : le moins cher.

Mieux disant : L'entreprise présentant le meilleur rapport qualité-prix ou qui présente des garanties (plannings etc.) ... 1 seule de ces réponses suffit...

Question 1.2. (Descriptif sommaire page 2/23 et 3/23)

La page 3 regroupe des informations tirées en vrac du CCTP.

- Réaliser **sous forme d'un tableau**, une synthèse qui indique pour le bâtiment quel(s) élément(s) permet(tent) la production, l'émission, la ventilation ainsi que la distribution de chaleur.

Exemple de tableau

Production	PAC air-eau Réchauffeur de boucle électrique en cas de grand froid
Emission	CTA n°3 en salle de conférence Panneaux rayonnants autres locaux
Distribution	Pompes doubles (6 réseaux indépendants)
Ventilation	Simple flux pour les locaux à pollution spécifique CTA double flux n°1 et 2

Note : **le réchauffeur de boucle est accepté aussi bien en production qu'en distribution.**

B) Principes de fonctionnement (questions 1.3 à 1.8)

Question 1.3. (DT1 page 11/23).

- A l'aide du schéma de principe, indiquer quels sont les différents régimes d'eau de température été/hiver dans l'installation pour les panneaux rayonnants, la PAC et la CTA.
- Peut-on obtenir simultanément du chaud sur certaines zones et du froid dans d'autres ?

Panneaux
Hiver : 35/33 °C
Été : 18/15 °C

PAC
Hiver : 35/30 °C
Été : 12/7 °C

CTA
Hiver : 35/30 °C
Été : 12/7 °C

Pas de froid et chaud simultanés : système change-over et panneaux 2 tubes

Question 1.4. (DT1 page 11/23).

- Comment sont montées les vannes 3 voies des circuits façades et patios (panneaux rayonnants) ? Que régulent-elles (température, débit) ? Justifier votre réponse.

Vannes 3 voies montage mélange. Régulation de température (Pompe placée après la vanne et 100% de débit dans la pompe (réseau constant)).

Question 1.5. (DT1 page 11/23).

- Quelle est la particularité du départ CTA par rapport aux autres circuits ? Que régule-t-on ? Aux moyens de quels éléments ?

Pas de vanne 3 voies. Régulation de débit par vannes 2 voies terminale et pompe à vitesse variable.

Question 1.6. (DT1 page 11/24).

- Sur le schéma de principe, identifier les éléments du circuit primaire repérés 1 et 2. Indiquer leur rôle et expliquer l'intérêt de l'ensemble du montage de ces éléments.

Circulateur double à vitesse variable + manomètres et jeu de vannes

Circulateur : assurer la circulation avec sécurité de fonctionnement

Manomètre et vannes : mesurer la pression aval/amont de la pompe. Déduire la hauteur manométrique et ainsi vérifier le bon fonctionnement du circulateur.

Question 1.7. (DT1 page 11/24).

- Sur le schéma de principe, identifier les éléments de la CTA d'air neuf n°1 repérés 3 et 4. Indiquer leur rôle.

Repère 3 : batterie chaude : chauffer l'air de ventilation à température neutre 20°C ou batterie froide en été

Repère 4. : Echangeur à roue : récupérer l'énergie de l'air extrait

Question 1.8. (Descriptif sommaire p 3/23 et DT4 page 14/23).

- Indiquer à quoi servent les deux VMC A et B.
- Quel est le débit total de la VMC A ?

VMC A et B : VMC simple flux (évacuation d'air dans les locaux à pollution spécifique) (WC, pièces humides ... et les parkings).

Débit : $360 * 3 + 260 = 1340 \text{ m}^3/\text{h}$,

C) Contexte réglementaire (questions 1.9 à 1.11)

Question 1.9.

Le bureau d'études qui a effectué l'étude initiale a comparé 2 solutions : une solution utilisant des ventilo/convecteurs plafonniers 2 tubes en bureau (alimentation 7/12) et l'autre utilisant des panneaux rayonnants.

Solution 1 : ventilo-convecteur :

L'étude thermique réglementaire donne les résultats suivants :

$BBio < BBio \text{ max}$;

$TIC < TIC \text{ max}$;

$Cep \text{ bâtiment} = 115 \text{ kW}\cdot\text{h}_{ep}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{an}^{-1}$

$Cep \text{ max} = 110 \text{ kW}\cdot\text{h}_{ep}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{an}^{-1}$

$Cep \text{ bâtiment bureaux ECULLY (solution avec ventilo-convecteurs)} = 115 \text{ kWh}_{ep}/\text{m}^2/\text{an}$

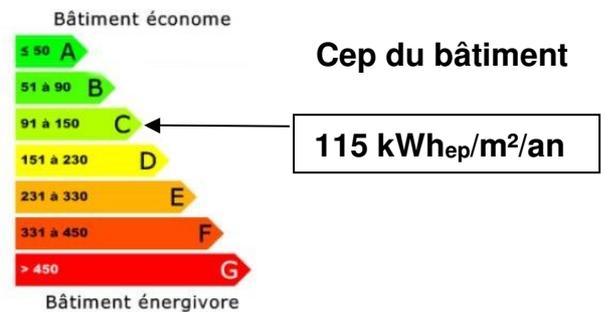
$Cep \text{ max bureaux ECULLY (solution avec ventilo-convecteurs)} = 110 \text{ kWh}_{ep}/\text{m}^2/\text{an}$

- Que signifient les initiales Cep
- En quelle catégorie se situe le bâtiment ?
- Le bâtiment est-il conforme à la RT 2012 ?

Cep = consommation d'énergie primaire

Catégorie C

Cep > Cep max donc non conforme



Question 1.10.

En fait, le moteur de chaque ventilateur de ventilo-convecteur a une puissance électrique de 30 W. Il est prévu initialement dans l'ensemble du bâtiment 250 ventilo-convecteurs au total pour les 6288 m² de bureau (soit 1 ventilo-convecteur pour 25 m² de surface). Sachant que les ventilo-convecteurs fonctionnent 3000 h/an (été + hiver) :

- Déterminer la consommation électrique des 250 ventilateurs des ventilo-convecteurs (kWh/an)
- En déduire la consommation d'énergie primaire (kWh_{ep}/an) des ventilateurs des ventilo-convecteurs. (**Rappel : 1 kWh électrique = 2.58 kWh_{ep}**)
- Combien économiserait-on sur le Cep en l'absence de ces ventilateurs (kWh_{ep}.m⁻².an⁻¹).

$$\text{Puissance} = 30 * 250 = 7500 \text{ W}$$

$$\text{Consommation} = P * t = 7500 * 3000 = 22\,500 \text{ kWh/an}$$

$$\text{Consommation primaire} = P * t * 2.58 = 22\,500 * 2.58 = 58\,050 \text{ kWh EP/an}$$

$$\text{Diminution du Cep} = \text{Cep} = 58\,050 / S = 58\,050 / 6288 = 9.2 \text{ kWh EP/an}$$

Question 1.11.

- Solution 2 : panneaux rayonnants

On remplace les ventilo-convecteurs par des panneaux rayonnants.

Le Cep est impacté par :

- Des pertes de charge plus élevées (pompes plus consommatrices). La surconsommation des pompes déterminées par le moteur de calcul de la RT 2012 est de **1.5 kWh ep.m⁻².an⁻¹**
 - L'absence de ventilateurs de ventilo-convecteurs
 - D'autres facteurs (type d'émission, régulation différente) qui occasionnent une diminution du Cep de **0.7 kWh ep.m⁻².an⁻¹** pour la solution plafonds rayonnants
- Déterminer le nouveau Cep du bâtiment avec les panneaux rayonnants.
 - La RT2012 est-elle respectée ? Justifier.

$$\text{Nouveau Cep} = \text{Cep initial} - \text{diminution Cep} + 1.5 - 0.7$$

$$\text{Cep} = 115 - 9.5 + 1.5 - 0.7 = 106.3 \text{ kWh ep /m}^2\text{/an}$$

106.3 < 110 donc Cep < Cep max. Le bâtiment est aux normes du point de vue du Cep ainsi que pour les autres coefficients (cf question 1.9).

DEUXIÈME PARTIE : Etude des panneaux rayonnants

Temps conseillé : (40 minutes)

A/ Découverte du fonctionnement et de l'agencement des panneaux (questions 2.1 à 2.2)

Question 2.1. (DT 2 page 12/23).

A l'aide du document technique DT2 :

- Quel est le rôle du panneau aluminium selon vous ?
- Quel est le rôle de l'isolant ?
- Expliquer succinctement comment fonctionne un panneau rayonnant.

Principe :

- 1) **Rôle du panneau aluminium : diffuser la chaleur ou le froid (selon saison)**
- 2) **Rôle de l'isolant : empêcher la chaleur de s'échapper par le haut.**
- 3) **Principe : de l'eau chaude ou de l'eau glacée arrive dans le panneau ce qui chauffe ou refroidit la paroi rayonnante et permet de chauffer ou refroidir la pièce.**

Question 2.2. (DT5 page 15/23)

En considérant que tous les panneaux sont montés de façon identique, comme sur le plan de l'open-space DT5 :

- Indiquer comment sont montés les panneaux rayonnants.
- Conclure sur le nombre de vannes de régulation ainsi que le nombre de régulateurs nécessaires sur une salle de type open-space comportant 10 panneaux.

2 panneaux en série, les groupes de panneaux sont montés en parallèle.

Chaque ensemble de 2 panneaux est monté en bitube.

5 vannes de régulation et 5 régulateurs pour 10 panneaux et une sonde d'ambiance.

B/ Etude des panneaux en hiver (questions 2.3 à 2.4)

Question 2.3. (DT3 page 13/23 et DT5 page 15/23).

- A l'aide du plan DT5, déterminer les dimensions des panneaux installés.
- A l'aide du document DT3, déterminer la puissance de chauffage produite par ce panneau.

Panneau : $3000 \times 595 = 3000 \text{ mm} * 595 \text{ mm}$

$\Delta T = 34 - 19 = 15^\circ\text{C}$

Puissance = 76 W/m (cf doc)

Longueur : 3m : Puissance = $76 \times 3 = 228 \text{ W}$

Question 2.4. (DT 5 page 15/23)

Les déperditions en hiver de la zone d'open-space, comportant 4 panneaux, présentée au DT 5 sont de 0,85 kW. Les apports en été sont de 2,4 kW.

- Vérifier si la puissance de chauffage installée est suffisante.

Déperditions = 0.85 kW

Puissance des panneaux : $4 * 228 = 1012 \text{ W} > 850 \text{ W}$: c'est bon

C/ Etude de la condensation sur les panneaux en été (questions 2.5 à 2.6)

Question 2.5. (DR 1 page 20/23).

- Déterminer en utilisant le diagramme de l'air humide s'il y a risque de condensation en considérant une température de surface plafond minimale de 15°C et une teneur en eau ambiante égale à la teneur en eau de l'air extérieur.

Poids d'eau (teneur en eau) = 0.010 kg/kg_{as} pour 31°C et HR de 35%

T rosée = 13,5 °C

T surface > T rosée : Pas de condensation

Question 2.6. (DR 1 page 20/23).

Les salles où le risque de condensation est maximal sont les petites salles à fort dégagement d'humidité. Une petite salle de réunion située au nord du bâtiment a été identifiée.

Avec les conditions de fonctionnement en été le point ambiant dans cette salle se stabilise à T = 26°C, HR = 60 %, et le risque de condensation apparaît.

- Proposer deux solutions à mettre en œuvre pour prévenir ce risque.

Ventiler plus

Couper l'alimentation en eau du panneau

TROISIÈME PARTIE : Régulation des éléments du circuit hydraulique

Temps conseillé : (60 minutes)

A) Régulation de la température de départ des circuits secondaires (questions 3.1 à 3.3)

Question 3.1. (DR 2 page 21/23).

Les panneaux rayonnants sont régulés en fonction de la température extérieure par l'intermédiaire d'une loi d'eau.

Le régime de température est de 35/33°C pour une température extérieure de -11°C. Le chauffage est arrêté lorsque la température extérieure est de 18°C. (Température de départ d'eau correspondante : 20 °C).

- Compléter sur le document réponse, le graphe de loi d'eau hiver régulant la température de départ en fonction de la température extérieure.
- Estimer graphiquement la température d'eau si $T_{\text{ext}} = 5^{\circ}\text{C}$?

Cf. document réponse

Estimation graphique : 27.5 °C

Question 3.2.

- A partir du graphique ci-dessous, expliquer pourquoi une loi d'eau similaire ne peut pas s'appliquer en été. Quel est alors le rôle de la vanne 3 voies en été ?

L'été, les charges ne dépendent que peu de la température extérieure (seules les déperditions parois et les déperditions par renouvellement d'air en dépendent.)

Rôle : maintenir une température de départ à 15°C en été à partir d'eau à 7°C.

Question 3.3. (DT1 page 11/23).

L'été, pour pouvoir alimenter les panneaux rayonnants, on produit de l'eau à 7 °C avec la PAC réversible.

- Le régime d'eau sur les panneaux rayonnants étant de 15/18°C en été, à partir du graphique ci-dessous, déterminer le pourcentage d'ouverture de la vanne aux conditions nominales de fonctionnement.
- En fonctionnement réel (prise en compte des pertes thermiques en ligne, de la régulation terminale, ...), comment va réagir la vanne 2 voies ? Justifier votre réponse.

15% d'ouverture

Elle va s'ouvrir davantage car la température de retour sera supérieure à 18 °C.

B) Étude de la régulation terminale (questions 3.4 à 3.10)

Le réseau de panneaux rayonnants dispose aussi d'une régulation terminale aux émetteurs : vannes 2 voies TOR.

Question 3.4. (DT5 page 15/23).

Identifier sur le schéma DT5 les éléments n°1 et 2 et préciser leur rôle

- 1) **Vanne 2 voies : coupure d'un ensemble de 2 trames de plafond**
- 2) **Régulateur : Commander la V2V**

Question 3.5. (Graphe de régulation 3/23 et DT5 page 15/23).

- Expliquer succinctement l'intérêt d'avoir une régulation terminale. Indiquer comment cette régulation est réalisée dans ce dispositif.

Intérêt : Réguler les panneaux indépendamment car les charges, l'occupation, ... sont variables.

Fonctionnement : ouverture ou fermeture de la vanne 2 voies selon la température ambiante

Question 3.6. (Graphe de régulation page 3/23 et DR 3 page 21/23).

Indiquer si les panneaux sont alimentés ou non dans les cas correspondants au tableau réponse. (Compléter les cases vides du tableau en mettant O pour vanne ouverture et F pour fermeture).

Cf doc réponse

Question 3.7. (DT5 page 15/23).

- Les sondes de rosée HR/T (pour hygrométrie/température), placées sur le schéma permettent d'éviter la condensation sur les panneaux en été. Que commandent-elles ? Où doivent-elles être placées ? Justifier.

Commande de la V2V (fermeture de l'alimentation du panneau).

**Elles doivent être au plus près de la zone la plus froide du panneau : entrée d'eau
C'est là que le risque de condensation est le plus important (point de rosée)**

Question 3.8. (DR4 Page 21/23).

Caractéristiques de la sécurité « Point de rosée » :

- Régulation en Tout ou rien
- Consigne d'hygrométrie : 85 % HR
- Consigne centrée au milieu de l'hystérésis
- Différentiel statique (hystérésis) : XD = 10 %

- Compléter le graphe de régulation de cette sonde pour l'hygrométrie HR sur le document réponse. Renseigner l'axe des ordonnées.

Cf doc réponse

Question 3.9. (DR5 PAGE 22/23).

- Compléter le document réponse DR5 en indiquant les nombres de points de régulation.

Cf doc réponse

Question 3.10. (DT6 PAGE 16/23 ; DT7 PAGE 16/23 et DR6 page 22/23).

Le régulateur RLU 232 commande l'éclairage à partir de la sonde de présence et de la sonde de luminosité, il doit aussi piloter la vanne 2 voies des panneaux rayonnants.

- Représenter le câblage de la sonde HR/T sur le régulateur RLU 232 à partir des documents cités ci-dessus.

Aide : l'alimentation de cette sonde active se fera à partir d'un port 24 V du régulateur.

Cf doc réponse

QUATRIÈME PARTIE : Étude de la PAC réversible

Temps conseillé : (55 minutes)

A) Contrôle du respect de la norme acoustique (question 4.1)

Question 4.1.

- À partir du document technique du groupe d'eau glacée, compléter le document réponse afin de contrôler que la norme NR50 est respectée et conclure quant au respect des normes acoustiques.

On attend le tracé de la courbe Lp du groupe d'eau glacée ainsi que la comparaison avec la courbe de NR50. A partir des 2 courbes, on peut conclure que la norme NR50 est respectée.

B) Étude économique de la PAC (questions 4.2 à 4.5)

Question 4.2.

- Que vaut le COP (mode chaud) du groupe sélectionné aux conditions de fonctionnement précisées ci-dessus. Justifier votre démarche.

La valeur du COP à retenir est 3.8 car elle correspond à notre régime de fonctionnement de la boucle d'eau chaude, soit 30°C/35°C, ainsi qu'à la température extérieure de 7 °C.

Question 4.3.

- À partir du document technique, structurer le calcul de l'ESEER dans un tableau afin de contrôler la valeur de l'ESEER affichée par le constructeur.

Exemple de présentation :

Température entrée d'air	Régime eau glacée	Cc (kW)	Pi (kW)	EER	Coef.	Coef. x EER
35°C	12°C/7°C	322	112	2,88	0,03	0,09
30°C	10,8°C/7°C	343	103	3,33	0,33	1,10
25°C	9,5°C/7°C	362	95	3,81	0,41	1,56
20°C	8,3°C/7°C	415	69	6,01	0,23	1,38
ESEER						4,13

Le ESEER calculé est identique au ESEER affiché dans le document ressource pour le modèle AQUACIATPOWERILD1200VXtraLow Noise.

Question 4.4.

Pour cette question, on prendra ESEER = 4,1

- En considérant des besoins journaliers moyens de 150 kW en froid sur une période de 180 jours, à raison de 12 heures par jours, calculer la consommation électrique du groupe frigorifique. En déduire le coût annuel du rafraîchissement du bâtiment en considérant un tarif de l'électricité de 0,15 €/kWh.

Calcul de la puissance absorbée électrique :

$$P_{\text{élec}} = P_{\text{froid}} / \text{ESEER} = 150 / 4,1 = 36,5 \text{ kW}$$

Calcul de l'énergie électrique consommée par an :

$$Q_{\text{élec}} = P_{\text{élec}} \times t = 36,5 \times 180 \times 12 = 79024 \text{ kWh/an}$$

Calcul du coût de l'énergie électrique consommée par an :

$$\text{Prix} = Q_{\text{élec}} \times C = 79024 \times 0,15 = 11854 \text{ €/an}$$

Question 4.5.

Un concurrent direct de CIAT propose un groupe réversible de production d'eau glacée dont les performances permettent de réaliser une économie annuelle de 445 € sur la facture énergétique. Coût des modèles :

- Modèle concurrent : 149 500 €.
- Modèle AQUACIATPOWER ILD 1200V : 151 500 €.

Une remise commerciale de 5% a été consentie après négociation commerciale avec CIAT.

- Calculer le temps de retour sur investissement du modèle concurrent et conclure sachant que le client souhaite un amortissement du matériel sur 10 années maximum.

Calcul du prix du modèle CIAT avec la remise :

$$\text{Prix}_{\text{CIAT}} = 151\ 500 \times 0,95 = 143925 \text{ €}$$

Calcul du surcoût du modèle concurrent :

$$\text{Surcoût} = \text{Prix}_{\text{concurrent}} - \text{Prix}_{\text{CIAT}} = 149\ 500 - 143925 = 5575 \text{ €}$$

Calcul du temps de retour :

$$\text{Temps de retour} = \text{Surcoût} \div \text{Economies} = 5575 \div 445 = 12,5 \text{ ans}$$

Conclusion attendue : le temps de retour est nettement supérieur à 10 ans, le modèle du concurrent n'est pas économiquement rentable.

C) Raccordement électrique des ventilateurs de la PAC (questions 4.6 à 4.8)

Question 4.6. (DT10 page 19/23).

- Indiquer le nom et les fonctions de l'élément QG1.

C'est un disjoncteur magnétothermique. Sa fonction est de protéger le circuit électrique (et donc le moteur) des surintensités de surcharge et des surintensités de court-circuit.

Question 4.7. (DT10 page 19/23).

- Préciser le nom des couplages A et B ainsi que le mode de couplage par défaut.

Le couplage A est un couplage Etoile

Le couplage B est un couplage Triangle.

Par défaut, les moto-ventilateurs sont raccordés en en Etoile.

Question 4.8. (DT10 page 19/23).

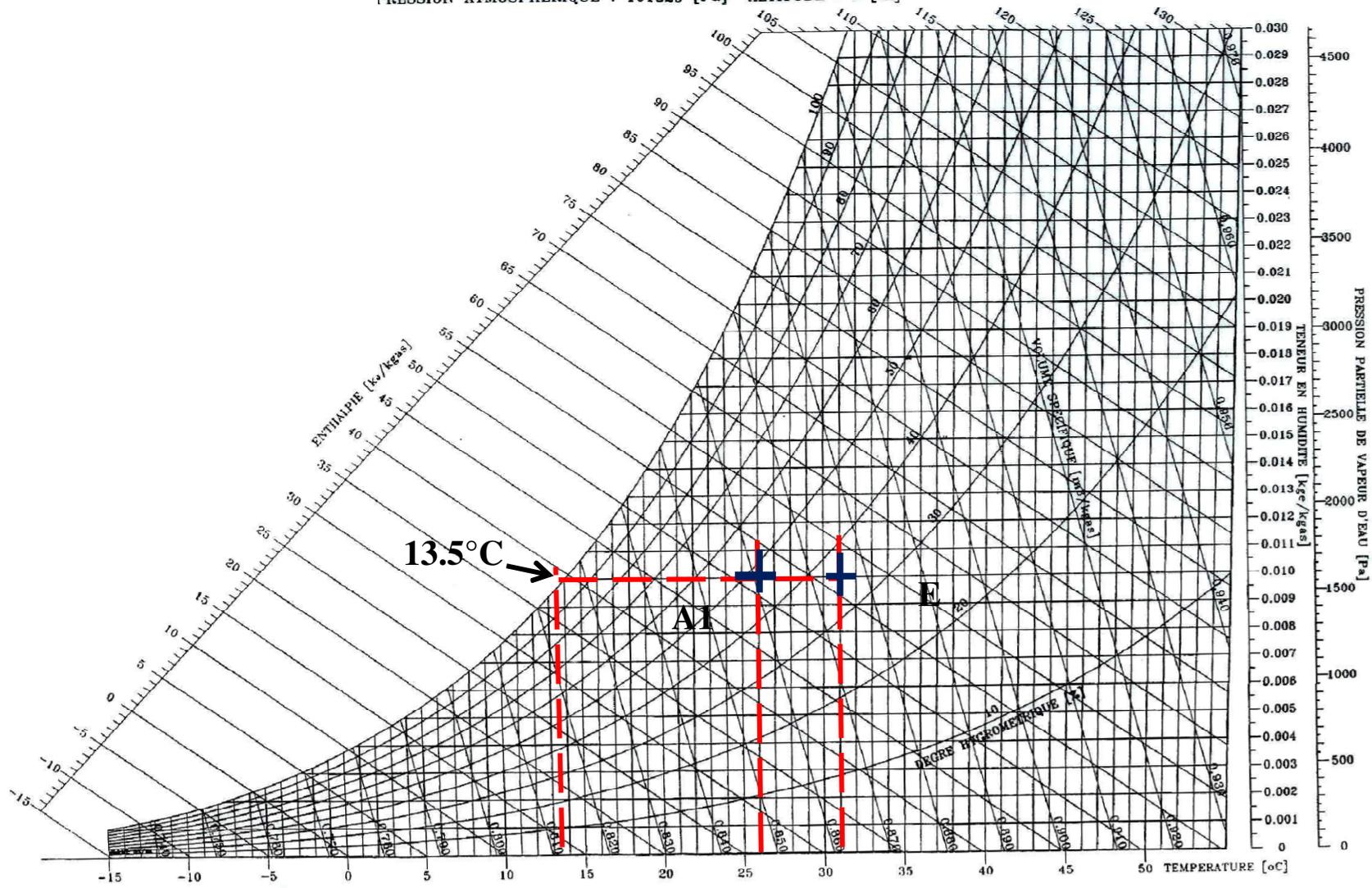
- Si le couplage n'est pas celui par défaut quelle est la conséquence énergétique sur le moteur ?
- Citer d'autres conséquences (au moins deux) de ce couplage sur le fonctionnement de la PAC.

Si le couplage est en triangle, le ventilateur tourne plus vite :

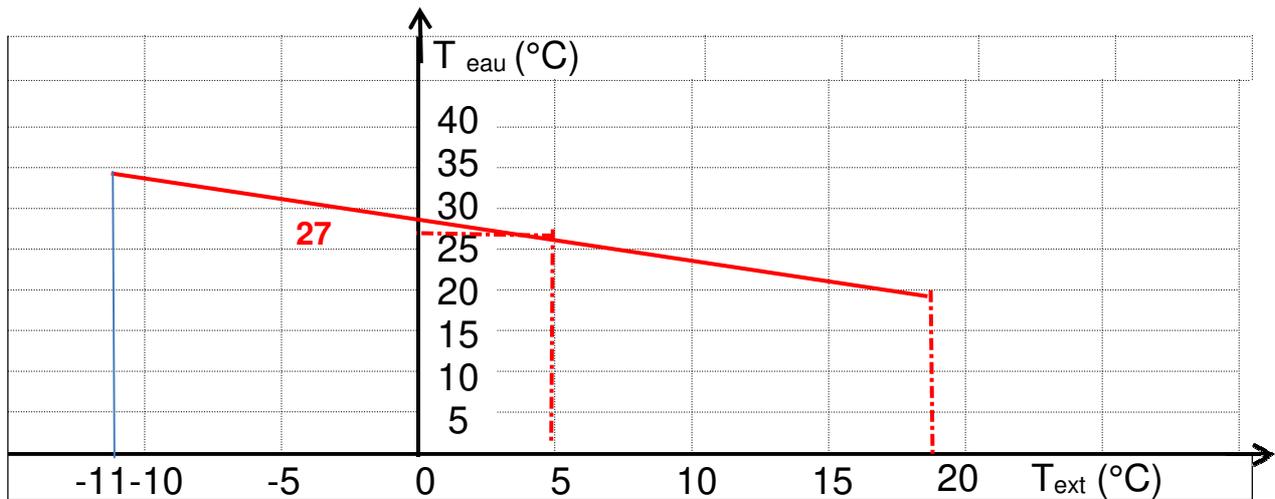
- **Plus de conso au ventilateur.**
- **Meilleur échange sur le condenseur/évaporateur.**
- **Moindre consommation du compresseur.**
- **Plus de bruit**

Diagramme de l'air humide page 21/24 (À rendre avec votre copie)

DIAGRAMME DE L'AIR HUMIDE
PRESSION ATMOSPHERIQUE : 101325 [Pa] ALTITUDE : 0 [m]



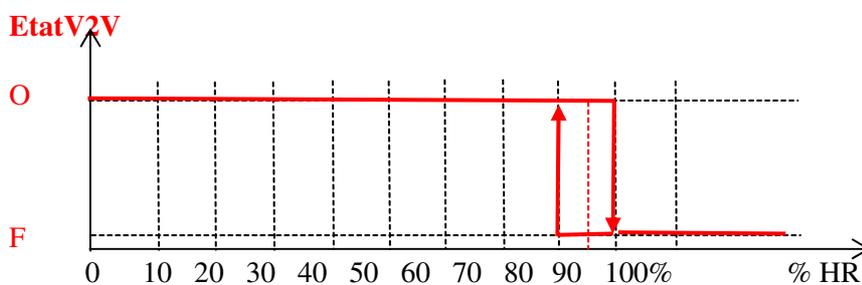
DR2 –Détermination de la loi d'eau (À rendre avec votre copie)



DR3 –Etat de la vanne de la régulation terminale des panneaux (cas été)

Température ambiante	T = 31°C	T = 29°C	T = 26°C	T = 24°C
Inoccupation	O	F	F	F
Standby	O	O	F	F
Occupation	O	O		F
Occupation rafraîchissement initialement à l'arrêt			F	
Occupation rafraîchissement initialement en marche			O	

DR4 –Graphe de régulation sonde HR



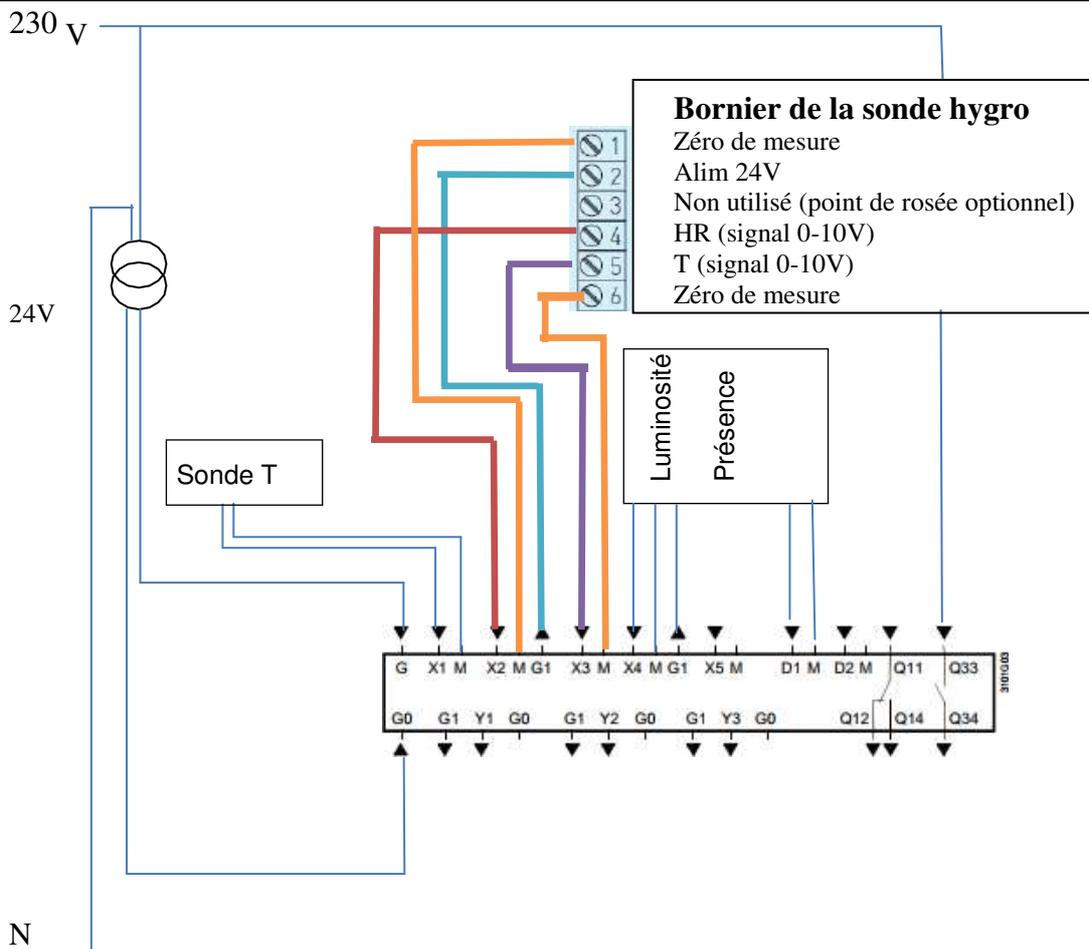
DR5 –Points de mesures (À rendre avec votre copie)

Entrée/sortie régulateur	ENTREES		SORTIES	
	DI	AI	DO	AO
Sonde multicateurs Luminosité (AI)/Présence (DI)	1	1	0	0
Sonde Température ambiante (T)	0	1	0	0
Sonde multicateurs Hygrométrie (HR) / Température (T)	0	2	0	0
V2V magnétique 0-10V	0	0	1	0
Alimentation Eclairage (TOR)	0	0	1	0
Total	1	4	2	0

Légende :

DI : Digital input
 DO : Digital output
 AI : Analogic input
 AO : Analogic output

DR6–Principe de régulation du régulateur RLU232



DR7–Niveaux de pression acoustique (À rendre avec votre copie)

