SESSION 2019

PRIX AICVF JEUNES
BAC+2 / BAC+3

Eléments de correction

PARTIE 1
Conception des installations techniques

Production de chaleur :

1) Régimes d'eau et justifications : Voir document **DR1**

La température d'eau retour chaudière affichée est de **60°C** et ne semble pas compatible avec l'ensemble des températures de retour d'eau en fonctionnement à T_{ext} de base.

2) Principe de la distribution d'eau chaude en chaufferie :
Les chaudières sont en appoint de la récupération de chaleur des condenseurs. La production est avant tout accès sur l'économie d'énergie.
Selon le mode de raccordement avec des vannes trois voies motorisées après les collecteurs départ les générateurs peuvent en effet se retrouver à débit nul. Il n'y a pas de risque car il existe un contrôleur de débit d'eau sur le débit des chaudières qui assurera la mise à l'arrêt en cas de défaut de débit. (Les exigences de la régulation vont aussi dans ce sens). Donc pas de problème.

3) Les vannes **V1, V2, V8** permettent d'obtenir la température départ à Température d'eau constante (ECS, BC et Bassin) par mélange entre la température de production des générateurs de de la récupération de chaleur. Cela est rendu possible par l'écart de température entre production à 80°C et récupération à 45°C.

V3B permet d'ajuster le régime d'eau sur le départ radiateurs. Elle évite la mise en place du bipasse souvent rencontré après la vanne trois voies de régulation des circuits plancher chauffant ne disposant pas du même régime d'eau que la production.
V4B permettra d'ajuster la température de départ plancher chauffant que si la température d'eau dans le ballon descend en dessous des 42°C.

Grâce à ces vannes il est possible d'isoler les générateurs de la récupération de chaleur et inversement.

4) Une recommandation du **CCTG Marchés Publics Brochure 2015** impose la mise en place de deux générateurs au moins dès lors que l''installation dépasse les 350kW. Dans la région H2, deux générateurs doit être installés avec chacun 66% de la puissance totale installée.
La construction diligentée par l'Agglomération Toulousaine, deux générateurs sont donc bien nécessaires. Trois auraient pu être concevable, reste la surface d'implantation disponible !

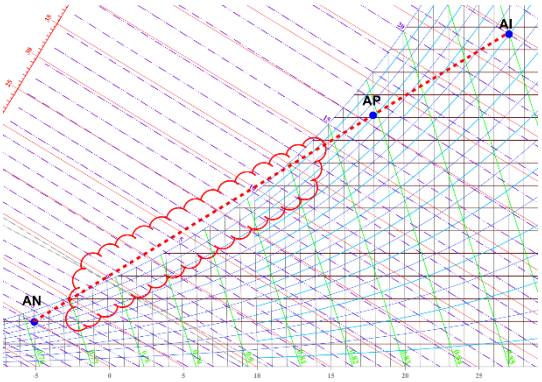
5) Le raccordement hydraulique des capteurs solaires est effectué en boucle de Tichelmann, boucle supposant que tous les capteurs soient identiques et permettant un « auto équilibrage » du réseau de production solaire.

Circuit CTA :

6) Le régime d'eau prévu de 2/7°C va permettre de provoquer une forte déshumidification de l'air des bassins avec une Tms de 4,5°C et ainsi réduire potentiellement le débit d'air soufflé. Le choix est aussi dicté par la production d'eau glycolée nécessaire à la formation de glace pour la patinoire.

7) L'échangeur à roue permet une récupération de chaleur sensible et latente. Dans le cas de la piscine, l'air extrait étant très chargé en humidité, l'air préchauffé se retrouvera nécessairement très humidifié avec ce système. L'inconvénient est ici double :

- Le point de soufflage devant être plus chaud (en hiver) et forcément très sec du fait de la quantité d'eau évaporée dans le hall, il va être très compliqué de l'atteindre avec un point d'air mélangé très humide.
- Le risque de gel dans l'échangeur est potentiellement important.



8) L'utilisation des vannes deux voies est cohérente avec le choix des pompes à débits variables. C'est certainement la meilleure situation de régulation.

9) Si l'objectif est bien le confort des personnes dans la patinoire et dans la piscine, le principal inconvénient est ici l'humidité. Le choix de déshumidifier d'abord est cohérent. Puis le chauffage permettra d'atteindre le point de soufflage calculé par la régulation.

10) Zone Vestiaires : les Chloramines sont un souci dans le cas des piscines couvertes. Provoquant l'irritation des yeux et des voies respiratoires supérieure mais aussi des maladies professionnelles reconnues, il est nécessaire d'évacuer l'air chargé de ces composés chimiques.

    L'idée ici est de récupérer la chaleur du débit d'air évacué.

PARTIE 2
Etude de la production d'ECS

1) Analyse du site de captage solaire :

Les capteurs solaires seront implantés sur le toit du R+1 comme le montre le plan proposé par le BET cf. **document DA5 page 22/24**.
L'étude est placée au **21 décembre** avec une hauteur maximale du soleil dans le ciel donnant un angle de α = 24°
Dimensions des panneau : *largeur = 1,05m, longueur de 2,38m, épaisseur de 90mm*

a) Dimensions utiles de la toiture pouvant accueillir le champ de capteurs d'après DA4 :
L = 30,08m – l = 15,21m, soit une surface de 460,5m²

Distance entre deux capteurs : b = a / tanα = h x sinβ / tanα = 1,05 x sin 45 / tan 24
b = 1,67m
Projection au sol « d » d'un capteur : d : cos 45 = d / h ; d = h x cos 45 = 1,05 x cos 45
d = 0,74m

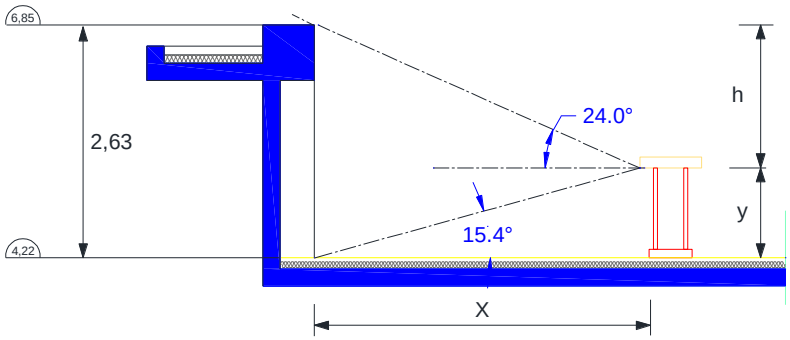
Largeur totale d'emprise au sol pour une rangée de capteur : L = d + b = 1,67 + 0.74 = 2,41m

Nb de Rangées potentielles : nbR = 30,08 / 2.41 = **12,5 rangées**

Nb de Capteurs par rangée : nbC = l / lcapteur = 15,21 / 2,38 = **6,4 capteurs**

b) 10 rangées de 5 capteurs est cohérent avec le site d'implantation.
Paramètres non pris en compte :
- Ombre portée liée au mur d'acrotère
- Distance (longueur et hauteur) permettant d'obtenir une ombre positionnée au bas du capteur au 21 décembre.
- Position des exutoires en toiture

c) Côtes d'implantation façade Sud-Ouest :



Y dépendant de X, la valeur de y = 1,06m n'a pas été demandée. L'angle de 15,4° n'était pas donné.

La valeur de X = 3,26m peut être recherchée par :

tan24 = h / X et h = (2,63 – y)

Soit X = 3, 66m ce qui est proche des 3,26m donné sur le plan.

Ces distances sont des côtes minimales d'implantation. Elles seront revues avec l'incorporation des exutoires dans les rangées du champ de capteurs.

2) Vérification du choix du volume de stockage (2 x 3000 litres)

L'étude menée avec 10 rangées de 5 capteurs orientés Sud-Ouest pour un volume de stockage de 6000 m³, montre :

- Un taux de couverture solaire bas (env 32%) mais maxi pour 50 capteurs
- Une productivité maximale en kWh/m² de capteur pour un volume de stockage de 6000 litres

Il semble difficile de faire mieux ici car la surface de captation est optimisée au maximum. Seul le volume de stockage pourrait être augmenté sans un grand impact sur la productivité.

La réserve d'ECS aurait été plus grande et surtout utile en été. C'est probablement la seule possibilité d'optimisation, par ailleurs l'orientation des capteurs étant elle aussi optimale.

3) Production d'ECS semi-instantanée :

En cas d'absence solaire :

- Temps de montée en température des ballons :

  Volume total de stockage : 1000 litres + 6000 litres (intérêt de la pompe de transfert)

  Puissance instantanée : 275 kW

  Régime d'eau : 60/10°C

  T = Q/P soit T = (7000 x 4.18 x (60 -10)) / 275 = 5320 s soit 1h 30min env

- Puissance appelée en semi-instantanée pendant la pointe des 1,5h.

  P = (Qj - Ca) x c * (60 – 10) / T

  P = (12000 - 7000) * 4,18 * 50 /(90*60) = 193,5 kW

- Conclure la validité du système semi-instantané sélectionné.

  La puissance nécessaire et le volume de stockage sont en adéquation (275kW pour 7000 litres). Le temps de remontée en température de l'eau dans les ballons en l'absence d'apport solaire est conforme au cahier des charges en cas de non puisage.

PARTIE 3
Etude du Traitement de l'air

1) Etude du point de rosée :

On donne : Rsi = 0,10 m²°C/W

Il faut calculer la température de surface de la vitre par le bilan de la conservation du flux :

$$\varphi = \frac{1}{Rsi} \times (T_{int} - T_{Si}) = U \times (T_{int} - T_{ext})$$

D'où $T_{si} = T_{int} - U \times R_{si} \times (T_i - T_e) = 27 - 2 \times 0{,}10 \times (27 + 5)$

T_{si} = 20,6°C

Les conditions du point de rosée intérieur sont : 27°C / 65%

$T_{rosée}$ = 20°C

La température de surface de la paroi est quasiment égale à la température de rosée. Il y aura certainement condensation malgré le soufflage de l'air sur les parois vitrées.

Il faudrait :

- Soit diminuer l'hygrométrie intérieure mais on augmenterait l'évaporation de l'eau des bassins
- Soit diminuer le U du vitrage mais sous réserve de trouver un vitrage performant à un coût convenable.

2) Etude de la CTA Piscine :

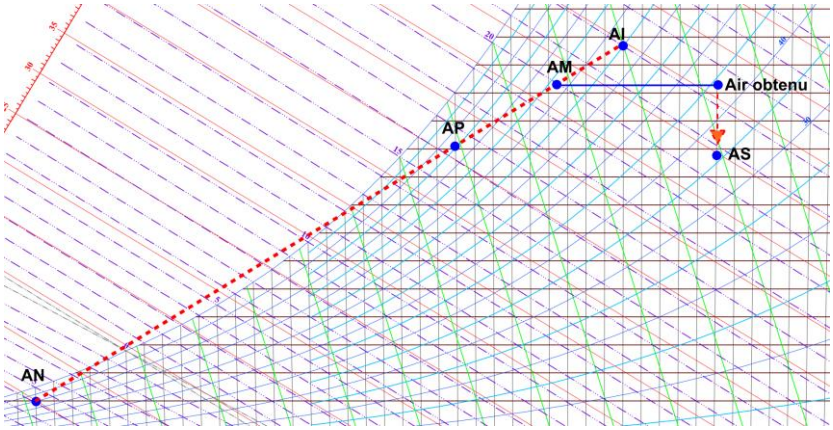
a1) Vérification du débit d'air neuf à injecter :

- Obligation normative du RSDT : 22 m³/h x 350 baigneurs = **7 700 m³/h**
- Selon le principe de déshumidification de l'air par l'injection d'air neuf
  - HIVER: $Qv_{Air\ neuf} = \frac{217 \times 0{,}751}{(0{,}0146 - 0{,}0022)} = 13\ 142{,}50\ m^3/h$
  - ETE : $Qv_{Air\ neuf} = \frac{177{,}9 \times 0{,}881}{(0{,}0146 - 0{,}012)} = 60\ 280{,}73\ m^3/h$

a2) L'air neuf, surtout en hiver contient une masse d'eau faible. Ce qui permet d'absorber l'humidité ambiante dégagée. En été, cette quantité étant plus élevée, il faudra beaucoup plus de débit d'air neuf pour compenser.
Débit d'air neuf de déshumidification en ETE et en HIVER :

Conclusion : La quantité d'air neuf hygiénique devra être prise égal au maxi des différentes valeurs soit 13 142,5 m³/h en hiver et 60 281 m³/h par été.

L'utilité de l'échangeur récupérateur est ici critiquable car, au-delà de la récupération de chaleur sensible limitant les consommations d'énergie, il va réhumidifier l'air soufflé … qui n'en avait pas besoin … !



b) Etude du point de soufflage en HIVER :

b1) Le taux de brassage = 5 vol/h minimum.

- Débit d'air de sélection de la CTA : *HIVER :* $Qv_{\text{air soufflé}}$ = **45 000 m³/h**

  Qv_{AN} = **13 142 m³/h**

b2) Température et l'hygrométrie du point de soufflage :

Données :

HIVER : Déperditions = 68 376 W

Quantité d'eau évaporée : Baigneurs : 35 kg/h
Bassin : 182,0 kg/h

Tamb = 27°C - HR = 65%

Hypothèse : $v_{AS} = v_{AI}$ (volume spécifique de l'air soufflé = volume spécifique de l'ai intérieur)
v_{AI} = 0,870 m³/kg_{as}

Charge $_{Sensible} = qm_{AS} \times C_{as} \times (\theta_{AI} - \theta_{AS})$

d'où : $(\theta_{AI} - \theta_{AS}) = H_{sens} / Qm_{as} = H_{sens} \times v_{AI} / Qv_{AS}$ soit $(\theta_{AI} - \theta_{AS}) = -4{,}75°C$

$\theta_{AS} = 27 + 4{,}76 = 31{,}75°C$

Charge $_{Latente} = qm_{AS} \times Lv \times (r_{AI} - r_{AS}) = M \times Lv$

D'où : $(r_{AI} - r_{AS}) = M / qm_{AS} = M \times v_{AI} / Qv_{AS} = 0{,}0042\ kg_{eau}/kg_{as}$

$r_{AS} = 0{,}0146 - 0{,}0042 = 0{,}0104\ kg_{eau}/kg_{as}$

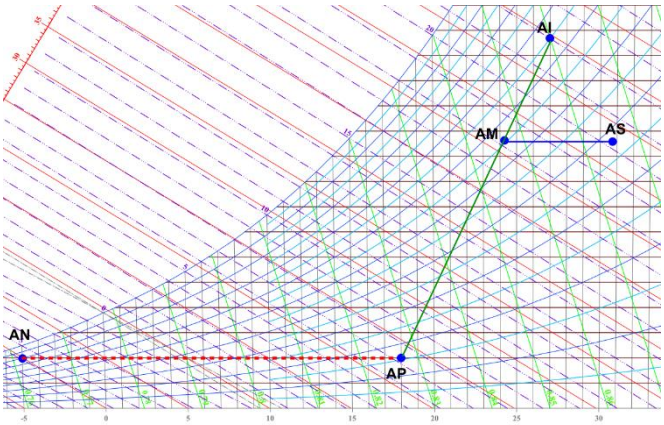
Logiquement, le volume spécifique du point de soufflage ainsi obtenu n'est pas égal au v_{AI} de départ.

v_{AS} = 0,875 m³/kg_{as}

Le calcul réitéré donne : $\theta_{AS} = 27 + 4{,}78 = 31{,}78°C$

$r_{AS} = 0{,}0146 - 0{,}0042 = 0{,}0104\ kg_{eau}/kg_{as}$

Le point de soufflage est donc : $\theta_{AS} = 31{,}8°C$
$HR_{AS} = 37\%$



Si on oublie l'échangeur rotatif et remplacé par un échangeur à plaques classiques, la présence du récupérateur, du caisson de mélange et des batteries froide puis chaude, permettent bien d'obtenir le point de soufflage calculé :

Le point de mélange a été évalué rapidement avec la règle des segments et le rapport entre Qv_{AN}/QV_{AS} ce qui n'est pas strictement valable (calcul en débit massique obligatoire). Mais en première approximation, cela donne le résultat escompté de la question posée.

c) Etude de la CTA Patinoire :

Ces simulations sont importantes et car elles permettent d'évaluer les puissances des batteries dans la CTA

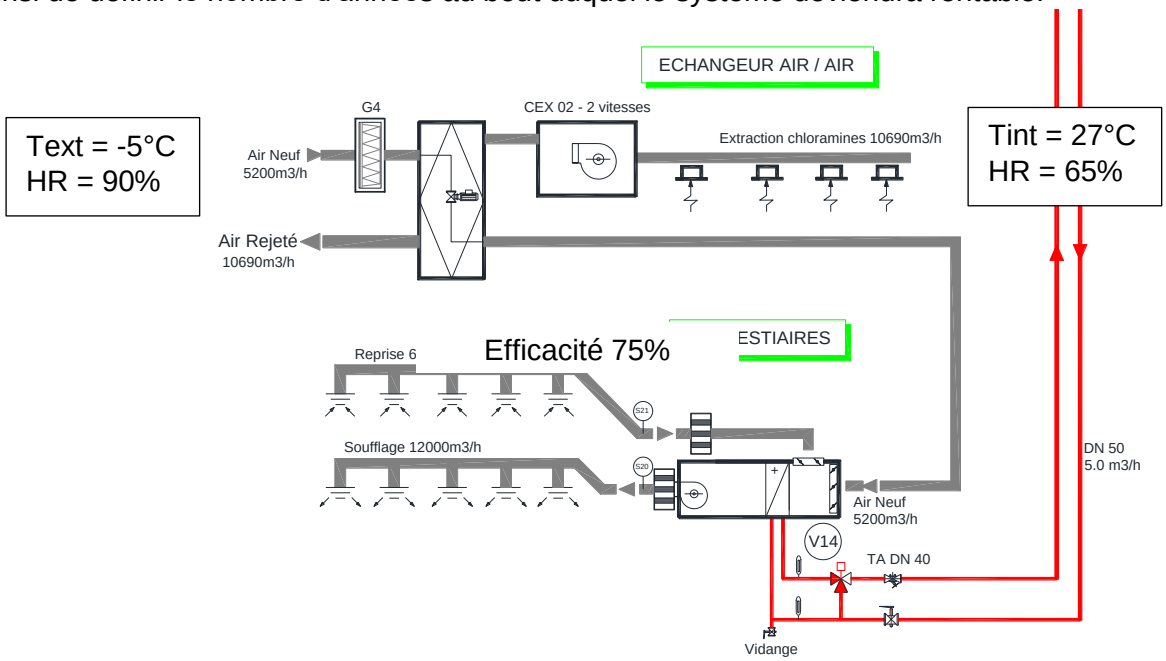
Le cas VIDE (hors public) permettra d'évaluer la puissance maximale de la batterie chaude

Le cas numéro 2 (occupation maximale) permettra de définir la puissance maximale de la batterie froide.

PARTIE 4
Rentabilité de l'Echangeur de chaleur

Il s'agit ici d'étudier la rentabilité de l'échangeur récupérateur de chaleur susceptible d'être mis en place sur l'extraction des Chloramines de l'air des piscines.

On vous demande d'évaluer le gain - ou coût financier évité - avec l'utilisation d'un tel équipement et ainsi de définir le nombre d'années au bout duquel le système deviendra rentable.



A l'aide du tableau fourni en **annexe DR3 page 17/24** :

- Economie : Voir tableau
- Rentabilité et temps de retour brut :

Gain / an	**11319,0 €/an**
Investissement	35 000 €
Ventilateur	2200 €
Maintenance	600 €/an

Rentabilité :

1ere année	2ième année	3ième année	4ième année	5ième année	6ième année
-26481,0€	-17962,0€	-9443,0€	-924,0€	7595,0€	16114,0€

Temps de retour sur investissement : 4,11 ans

PARTIE 5
Régulation et GTB

1) **CTA patinoire :** Recherche des points de régulation :

- **Document DR2** : schéma complété
- Tableau de synthèse :

AI	AO	DI	DO	TCP
7	4	5	9	1

- Automate sélectionné :
  1 seul ne suffira pas à cause du nb de DO
  Choix potentiel : 2 x RDR 828 F022 avec TCP ou RS485
- **TCP :** Transmission Control Protocol **est** un protocole de transport fiable : bus de communication vers la GTB
- Autres points potentiels :
  - Détection et alarme intrusion
  - VDI
  - Détection fumée
  - Digicode
  - ….

2) Loi d'eau sur le circuit radiateurs :

Ti = 20°C - T_{ext} = -5°C - Td_{eau} = 60°C

La loi d'eau sera de la forme : a = (60 – 20) / (-5 -20) = -1,6

$$T_{eau} = -1{,}6 \times Text + 52$$

Elle sert principalement au contrôle de la régulation de la température de départ d'eau et donc de la position de la V3V.

3) Loi d'eau sur la production de chaleur :

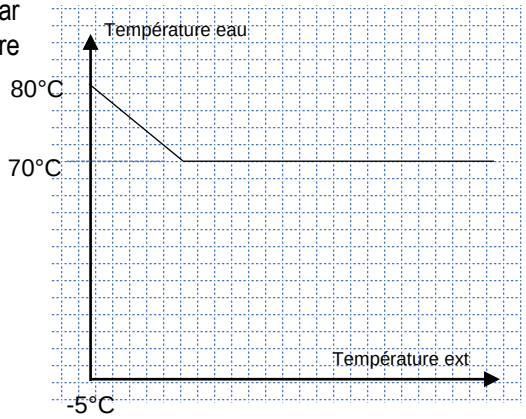
Le cahier des charges décrit un mode de fonctionnement glissant de la température de départ d'eau en fonction de la température extérieure, sur la base d'un régime d'eau 80/60°C pour -5°C extérieur.
Dans la mesure où les générateurs sont pilotés en fonction de la température extérieure, la loi d'eau serait du type :

Ti = 20°C - T_{ext} = -5°C - Td_{eau} = 80°C

La loi d'eau sera de la forme : a = (80 – 20) / (-5 -20) = -2,4 – – $T_{eau} = -2{,}4 \times Text + 68$

Dans la mesure où les besoins en ECS sont importants et que par conséquence l'échangeur de la préparation semi-instantanée devra être continuellement alimentée, la loi d'eau sera forcément réduite.

Loi d'eau, graphique, qui correspondrait au mode de fonctionnement souhaité :
Sans échelle



Le choix des générateurs à condensation est toujours judicieux
Les retours d'eau seront toujours aussi bas en température.

Document Réponse DR1

Partie 1 – Question 1) Régimes d'eau

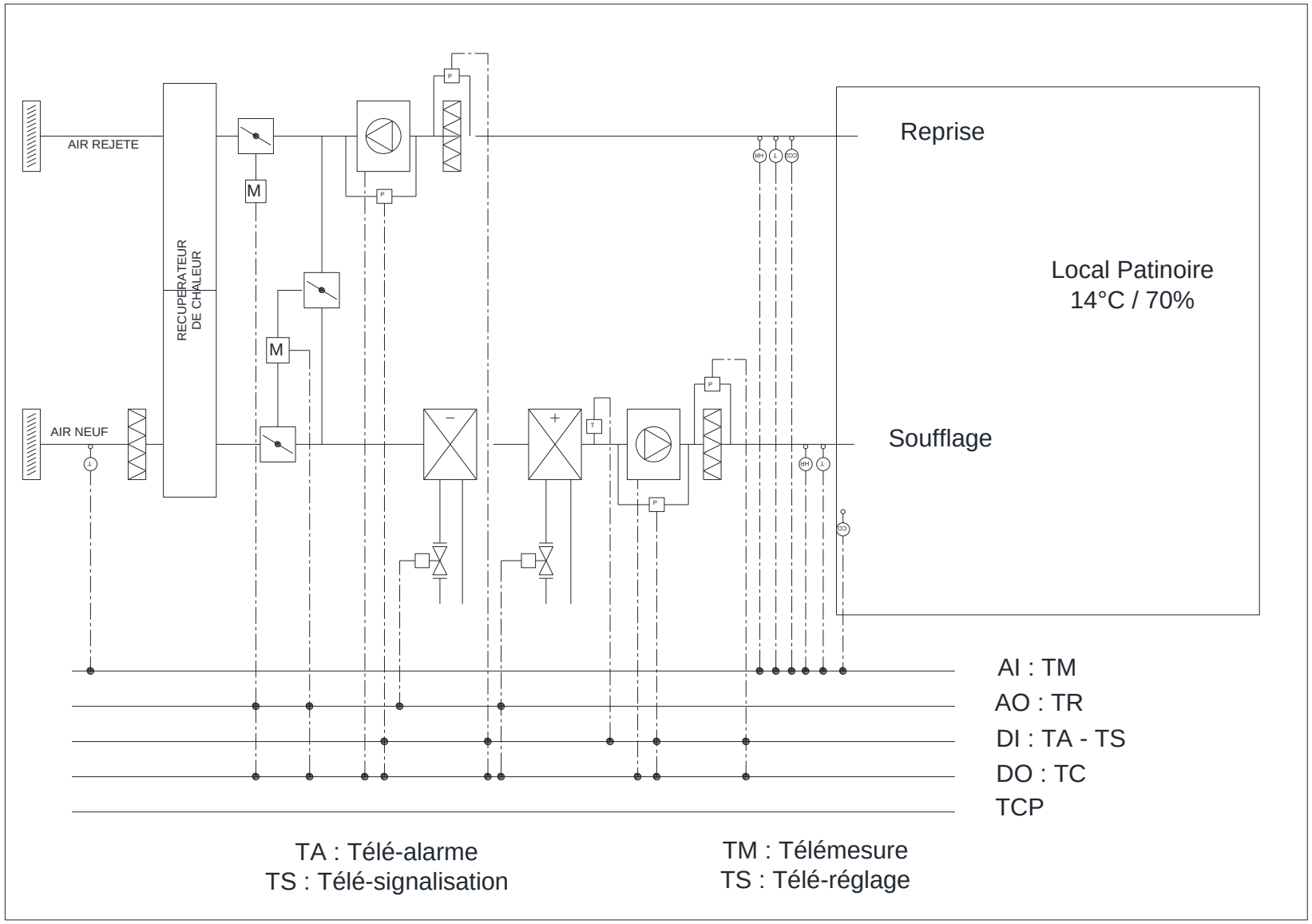
Désignation	Régime d'eau	Justification
Production de chaleur en chaufferie	**80 / 60°C**	Nécessaire pour production ECS et obtention des régimes de distribution
Distribution d'eau chaude en chaufferie		
Réseau Eau Chaude Batteries CTA	**42 / 35°C**	Régime d'eau classique, générant une bonne efficacité de la batterie. Doit être compatible avec les températures de soufflage
Réseau ECS	**70 / 50°C**	Nécessaire à la production d'ECS à 60°C dans le ballon
Réseau radiateur	**60 / 40°C**	Meilleure efficacité de l'émetteur engendrant une meilleure autorité de la V3V qu'avec un 80/60°C. Surface d'émission compatible avec les locaux
Réseau Plancher chauffant	**42 / 32°C**	Valeur maxi de départ : 50°C (afin de ne pas atteindre les 28°C de Tsol). ΔT grand = petits débits de distribution Valeurs dépendant de la sélection des grilles.
Réseau Eau Chaude : récupération de chaleur des condenseurs vers chaufferie	**45 / 35°C**	Valeur maximale obtenue par le biais de la récupération de chaleur sur les condenseurs : Régime maxi 47/42°C

Désignation : Patinoire	Régime d'eau	Justification
Distribution Eau Glacée réseau CTA	**2 / 7°C**	[redacted]
Distribution réseau Eau Glycolée patinoire	**-8 / -4°C**	Régime d'eau glycolée à 35% obligatoire afin de créer et maintenir la couche de glace dans la patinoire
Régime d'Eau Glycolée évaporateur	**-8 / -4°C**	Idem qu'au-dessus. On remarque au passage que le ballon de stockage est disposé sur le retour permettant d'obtenir le régime 2/7°C pour les BF des CTA
Régime d'EC condenseur	**47/ 42°C**	Valeurs liées aux conditions de condensation du fluide frigorigène utilisé dans la machine frigorifique. Valeurs classiques de ΔT.

Eau Chaude Sanitaire	Temp en °C	Justification
Stockage ECS	**60 / 10°C**	Stockage permettant de réduire le volume de stockage. Elimine toute bactérie. Conforme à DGS (Tdist mini 55°C)
Distribution réseau EC Piscine	**55°C**	Valeur recommandée par la DGS
Température minimale de bouclage ECS	**50°C**	Conformité avec la DGS/SD7A/DCS/DGUHC/DGE/DPPR n° 2007-126 du 3 avril 2007

Document réponse DR2

Partie 5 – Question 1) Recherche des points de régulation



Document Réponse DR3

Partie 4 – Question 1) Economies réalisées

Station Blagnac	*Text*	*-7°C*	*-6°C*	*-5°C*	*-4°C*	*-3°C*	*-2°C*	*-1°C*	*0°C*	*1°C*	*2°C*	*3°C*	*4°C*	*5°C*	*6°C*	*7°C*	*8°C*	*9°C*
	Nb heures	6	18	17	13	32	52	88	135	144	207	206	226	288	326	321	356	369
Enthalpie AI (local)	kJ/kgas	**64,5**																
Enthalpie AN	kJ/kgas	*-2,4*	*-1*	*0,4*	*1,8*	*3,2*	*4,6*	*6,1*	*7,6*	*9,1*	*10,5*	*12*	*13,5*	*15*	*16,6*	*18,1*	*19,7*	*21,3*
Δh	kJ/kgas	66,9	65,5	64,1	62,7	61,3	59,9	58,4	56,9	55,4	54	52,5	51	49,5	47,9	46,4	44,8	43,2
Energie théorique	kWh	690	2027	1874	1402	3373	5356	6628	13209	13718	19221	18597	19820	24514	26852	25612	20569	27411
Energie récupérée	kWh	**517**	**1521**	**1405**	**1051**	**2530**	**4017**	**6628**	**9907**	**10289**	**14416**	**13948**	**14865**	**18386**	**20139**	**19209**	**20569**	**20559**
Economie	€	**15,5**	**45,6**	**42,2**	**31,5**	**75,9**	**120,5**	**198,8**	**297,2**	**308,7**	**432,5**	**418,4**	**446**	**551,6**	**604,2**	**576,3**	**617,1**	**616,8**

Station Blagnac	Text	*10°C*	*11°C*	*12°C*	*13°C*	*14°C*	*15°C*	*16°C*	*17°C*	*18°C*	*19°C*	*20°C*	*21°C*	*22°C*	*23°C*	*24°C*	*25°C*	*26°C*
	Nb heures	346	347	346	401	349	324	348	365	364	337	357	300	247	210	177	165	137
Enthalpie AI (local)	kJ/kgas	**64,5**																
Enthalpie AN	kJ/kgas	*22,9*	*24,5*	*26,2*	*27,8*	*29,5*	*31,2*	*32,9*	*34,6*	*36,3*	*38,1*	*39,8*	*41,6*	*43,3*	*45,1*	*46,8*	*48,6*	*50,3*
Δh	kJ/kgas	41,6	40	38,3	36,7	35	33,3	31,6	29,9	28,2	26,4	24,7	22,9	21,2	19,4	17,7	15,9	14,2
Energie théorique	kWh	24751	23868	22788	25307	21005	18553	18910	18767	17651	15299	15163	11814	9004	7006	5387	4511	3345
Energie récupérée	kWh	**24751**	**23868**	**22788**	**25307**	**21005**	**18553**	**18910**	**18767**	**13238**	**11474**	**11372**	**8860**	**6753**	**5254**	**4040**	**3384**	**2509**
Economie	€	**556,9**	**537**	**512,7**	**569,4**	**472,6**	**417,4**	**425,5**	**422,2**	**397,2**	**344,2**	**341,2**	**265,8**	**202,6**	**157,6**	**121,6**	**101,5**	**75,3**