



SERVICES CULTURE ÉDITIONS
RESSOURCES POUR
L'ÉDUCATION NATIONALE

Ce document a été numérisé par le CRDP de Bordeaux pour la
Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel.

Campagne 2010

BTS FLUIDES - ÉNERGIES - ENVIRONNEMENTS

E3 – ÉTUDE DES INSTALLATIONS OPTION C – GÉNIE FRIGORIFIQUE

SESSION : 2010

Durée : 4 heures

Coefficient : 4

Matériel autorisé :

Toutes les calculatrices de poche y compris les calculatrices programmables alphanumériques ou à écran graphique à condition que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimante (circulaire N°99 – 186 , 16/11/1999)

Tout autre matériel ou document est interdit.

Documents réponses à rendre avec la copie :

Documents-réponses n° 1 à 8..... pages 24/31 à 31/31

**Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.
Le sujet comporte 31 pages, numérotées de 1/31 à 31/31.**

BTS Fluides Énergies Environnements		Session 2010
E3 - Étude des Installations - Option C	FECEISI	Page 1 sur 31

Epreuve E3 : Étude des Installations

Consignes générales :

Le document rendu sera numéroté de 1/n à n/n, n étant le nombre de feuilles rendues, y compris les documents réponses à compléter.

Il est rappelé que la présentation, la lisibilité, la rédaction des copies sont des éléments de l'évaluation du travail fourni par le candidat.

Toutes les réponses sont à justifier à l'aide d'une explication, d'une référence documentaire, d'une note de calcul.

Chacune des quatre parties est à rédiger sur une copie séparée.

Les documents réponses situés en fin de sujet sont à rendre avec les copies et associés aux parties correspondantes.

Décomposition du sujet :

Dossier	Désignation	pages	Temps d'étude conseillé	Barème sur 100
I	Extrait du CCTP	3		
II	Étude de l'installation frigorifique : <ul style="list-style-type: none">- lecture du sujet- partie 1 : étude fonctionnelle- partie 2 : analyse technique- partie 3 : calculs et choix de matériels- partie 4 : élaboration de documents d'exécution	4 à 8	15 min 35 min 60 min 95 min 35 min	15 25 45 15
III	Documents ressources	9 à 22		
IV	Documents réponses	23 à 31		

Mise en situation : (schéma de principe document annexe 1 page 10)

L'étude porte sur l'équipement frigorifique d'un complexe piscine patinoire.

- La centrale frigorifique est composée d'un skid de quatre compresseurs à vis avec système économiseur et d'un séparateur réservoir d'huile commun placé après le collecteur de refoulement.
- Les conditions de fonctionnement ne nécessitent pas l'utilisation d'un système de refroidissement d'huile.

Le refroidissement de la piste s'effectue par production de froid indirect.

- La production frigorifique est assurée par un évaporateur multitubulaire quatre circuits alimentés par des détendeurs électroniques.
- Elle assure le refroidissement d'une boucle Mono Ethylène Glycol (MEG) alimentant un réseau de tuyauteries en polyéthylène placées dans la dalle de piste.

La condensation du fluide est assurée par deux condenseurs à eau multitubulaires.

- Le premier permet la récupération d'énergie pour le préchauffage de l'air neuf des centrales et le chauffage de l'eau d'appoint des bassins.
- Le second évacue l'énergie calorifique sur un aéroréfrigérant placé à l'extérieur du bâtiment. Un échangeur à plaques permet d'augmenter le sous refroidissement du liquide par fonte de la glace récupérée lors du surfaçage de la piste (système Surféco).

I – EXTRAITS DU C.C.T.P.

Données de fonctionnement

Fluide frigorigène R-507	Mélange azéotropique famille HFC
Charge en fluide de l'installation	500 kg
Régime de température fluide frigorigène	Condensation 40°C / Evaporation – 15°C
Fluide frigoporteur MEG dosé à 35%	Point de congélation -21°C
Volume de fluide frigoporteur	12 000 litres
Régime de température fluide frigoporteur	-6/-10°C
Puissance frigorifique totale	450 kW
Huile polyolester POE Bitzer BSE 170	200 litres

Matériels principaux

- Quatre compresseurs à vis semi hermétiques (**dont un de secours**) fonctionnant en mode économiseur.
 - Marque : Bitzer
 - Modèle : HSK 7471-90-40P – Volume balayé 250 m³/h (2900 tr/min)

- Deux condenseurs multitubulaires refroidissement par Mono Ethylène Glycol.
 - Marque : Bitzer
 - Modèle : K4803T

- Un aéroréfrigérant équipé de 10 ventilateurs.
 - Marque : Guntner
 - Modèle : GFH 090.2B

- Un réservoir de liquide
 - Marque : LCB
 - Dimensions : DN300 x 2600mm (180 litres)

- Un échangeur économiseur à plaques pour les 3 compresseurs
 - Marque : Alfa Laval
 - Modèle : CB76-80H

- Un évaporateur multitubulaire de refroidissement du frigoporteur
 - Marque : Alfa Laval
 - Modèle : CDEW100

- Quatre détendeurs électroniques
 - Marque : Danfoss
 - Modèle : vanne AKV 20-2 + régulateur de surchauffe EKC 315A

- Deux pompes centrifuges d'alimentation de piste
 - Marque : Grundfos
 - Modèle : NB 100.2

II – ÉTUDE DE L'INSTALLATION FRIGORIFIQUE

▪ PARTIE I – ÉTUDE FONCTIONNELLE

- 1.1. L'installation fonctionne selon le principe d'une production de froid indirect avec l'utilisation d'un évaporateur multitubulaire (page 13 : document annexe 4). Analyser le système retenu et compléter le document réponse 1 (page 24/31).
- 1.2. Identifier certains composants de la **partie A** du circuit frigorifique, repérés de 1 à 5 sur le schéma de principe annexe 2 page 11/31) et compléter le document réponse 2 (page 25/31).
- 1.3. Identifier certains composants de la **partie B** du circuit frigorifique, repérés de 6 à 10 sur le schéma de principe (annexe 3 page 12/31) et compléter le document réponse 3 (page 26/31).

▪ PARTIE II – ANALYSE TECHNIQUE

- 2.1. La production de froid est assurée par un évaporateur dry-ex quatre circuits (page 13 : document annexe 4. Chaque circuit est alimenté en détente directe par un détendeur électronique présenté dans la documentation technique (page 14 : document annexe 5). Analyser le fonctionnement de l'injection en fluide et compléter le document réponse 4 (page 27).
- 2.2. Chaque compresseur est équipé d'une régulation de puissance interne commandée par électrovannes. La variation de la puissance frigorifique des compresseurs est assurée par une **régulation multi boucles gérée par automate** et combinant la température de la piste, les températures d'eau glycolée et la pression d'évaporation. Après un surfacage de la piste (dépôt d'eau chaude) l'épaisseur de glace augmente et la résistance thermique de la piste augmente également. Par conséquent, le maintien de l'échange thermique ne peut être obtenu que par une diminution de la température du fluide frigoporteur et par suite de la température d'évaporation de l'installation frigorifique. Un raclage de la glace préalable au surfacage permet d'éviter ce changement de régime de fonctionnement (annexe 6 page 15/31).

Quelles sont les conséquences sur l'état de la piste, l'efficacité frigorifique de l'installation et le coût de fonctionnement en l'absence de raclage de la glace par l'exploitant ?

- 2.3. Afin d'améliorer l'efficacité énergétique de l'installation, les compresseurs fonctionnent avec un **système économiseur**. Ce système associe un **échangeur à plaques et deux détendeurs thermostatiques**. Le constructeur fournit les caractéristiques de fonctionnement du compresseur avec le **système économiseur** (page 16 : document annexe 7) et les données de puissances pour un fonctionnement **sans système économiseur** (annexe 8 page 17/31).

2.3.1. Comparer, pour les fonctionnements avec et sans système économiseur, la puissance frigorifique et l'efficacité frigorifique. Conclure sur l'intérêt d'utiliser le compresseur en version économiseur.

2.3.2. L'échangeur économiseur d'une puissance nominale de 90 kW est adapté au fonctionnement des trois compresseurs. Il est alimenté par deux détendeurs thermostatiques placés en parallèle : la capacité frigorifique du premier est de 60 kW et du second de 30 kW. **Justifier cette disposition technologique.**

2.4. La partie condensation de cette installation est composée de plusieurs boucles hydrauliques afin d'assurer une récupération d'énergie (page 18 : document annexe 9).

- Boucle primaire 1 : circulation du condenseur 1 vers le réservoir tampon.
- Boucle primaire 2 : circulation du condenseur 2 vers l'aéroréfrigérant.
- Boucle secondaire 1 : circulation du réservoir vers les batteries de préchauffage des centrales d'air.
- Boucle secondaire 2 : circulation du réservoir vers l'échangeur de chauffage de l'eau d'appoint du bassin (il faut compenser les pertes en eau provoquées par évaporation).

L'annexe 9 (page 18/31) comporte les schémas fonctionnels de régulation des boucles hydrauliques.

- Boucle primaire 1 : la montée de la pression HP provoque l'enclenchement de la pompe P1 et la commande en séquence de la vanne trois voies V1.
- Boucle secondaire 1 : la demande de préchauffage provoque l'enclenchement de la pompe P2 et la commande en séquence de la vanne trois voies V2.
- Boucle secondaire 2 : la demande de chauffage de l'eau d'appoint bassin provoque l'enclenchement de la pompe P2 et la commande en séquence de la vanne trois voies V3.

2.4.1. Expliquer le rôle et l'intérêt du réservoir tampon placé sur le circuit hydraulique de récupération d'énergie.

2.4.2. Compléter le document réponse 5 (page 28) concernant les graphes fonctionnels des vannes trois voies (fonctionnement en mode progressif).

2.5. Lorsque la température extérieure augmente et qu'il n'est plus possible d'évacuer l'énergie calorifique sur la boucle de récupération, un deuxième condenseur multitubulaire monté en parallèle du premier permet d'évacuer l'énergie calorifique sur un aéroréfrigérant placé à l'extérieur du bâtiment. A partir des graphes fonctionnels de la boucle primaire 2 (page 19 : document annexe 10), préciser :

2.5.1. Quel est le type de régulation adopté sur les ventilateurs de l'aéroréfrigérant.

2.5.2. Quel est le pourcentage d'ouverture de la vanne trois voies V4 lorsque la pompe P3 est enclenchée.

2.5.3. Quel est le pourcentage d'ouverture de la vanne trois voies V4 lorsqu'un ventilateur démarre.

2.5.4. Quel est le pourcentage d'ouverture de la vanne trois voies V4 lorsqu'un ventilateur s'arrête.

BTS Fluides Énergies Environnements		Session 2010
E3 - Étude des Installations - Option C	FECEISI	Page 5 sur 31

▪ PARTIE III – CALCULS ET CHOIX DE MATÉRIELS

3.1. Un schéma **simplifié** de l'installation est proposé avec un repérage de points pour le tracé du cycle (annexe 11 page 20/31). Le tracé du cycle, pour le régime établi, est à effectuer en tenant compte de certaines valeurs fixées dans le document réponse 7 (page 30) et des hypothèses de travail suivantes :

- Pertes de charge négligeables.
- Température de condensation : 40 [°C]
- Température d'évaporation : -15 [°C]
- Température intermédiaire : 14 [°C]
- Surchauffe utile évaporateur eau glycolée : 5 [K]
- Surchauffe gaz MP sortie échangeur économiseur : 5 [K]
- Surchauffe totale aspiration compresseur : 10 [K]
- Température refoulement compresseur : 70 [°C]
- Sous refroidissement condenseur : 0 [K]
- Température liquide HP sortie échangeur économiseur : 24[°C]

Les échanges thermiques sur les tuyauteries sont négligés.

3.1.1. Tracer le **cycle frigorifique** dans le diagramme enthalpique (page 29/31 : document réponse 6).

3.1.2. Compléter le tableau des **caractéristiques des points de mesure** (page 30/31: document réponse 7).

3.2. On considère pour les calculs le **régime établi proposé**, l'installation fonctionne à **puissance nominale avec trois compresseurs** (le quatrième compresseur est prévu en secours). Le **volume balayé unitaire d'un compresseur est de 250 [m³/h]** et on considère un rendement volumétrique des compresseurs η_v de **0,91**.

3.2.1. A partir des caractéristiques des compresseurs, déterminer le débit massique BP noté qm_{BP} [kg/s] de fluide frigorigène circulant dans l'évaporateur eau glycolée.

3.2.2. A partir des enthalpies relevées dans le diagramme, déterminer la puissance frigorifique notée Φ_o [kW] produite à l'évaporateur eau glycolée

3.2.3. A partir d'un bilan de l'échangeur économiseur (en considérant un rendement d'échangeur de 1), déterminer le débit massique MP noté qm_{MP} [kg/s] de fluide frigorigène injecté par les détendeurs thermostatiques dans l'économiseur.

3.2.4. Déterminer la puissance nominale de l'économiseur notée $\Phi_{éco}$ [kW].

3.2.5. Déterminer le débit massique HP noté qm_{HP} [kg/s] de fluide frigorigène circulant dans le condenseur.

3.2.6. Déterminer la puissance calorifique notée Φ_k [kW] produite au condenseur.

3.3. La puissance de l'économiseur $\Phi_{éco}$ est de 90 [kW] et l'alimentation est assurée par deux détendeurs thermostatiques : un tiers de la puissance pour le premier détendeur et deux tiers pour le second. L'alimentation ne comporte pas de distributeur de liquide.

3.3.1. Exprimer les **paramètres de choix des détendeurs** (valeurs à préciser pour l'application étudiée).

3.3.2. Effectuer le **choix des deux détendeurs** (page 21 : document annexe 12) en considérant la puissance nominale du tableau de sélection : $Q_n = Q_o \cdot K_t \cdot K_{\Delta P}$

3.4. Il est possible de récupérer de l'énergie calorifique en désurchauffe des gaz HP au refoulement des compresseurs. On souhaite évaluer la puissance récupérable pour le réchauffage d'une boucle d'eau pure en considérant le **fonctionnement de trois compresseurs en régime établi** selon les données de l'**annexe 7** (page 16).

3.4.1. On envisage une désurchauffe des gaz au refoulement des compresseurs (grâce à un échangeur désurchauffeur) telle que la température du point 5 soit de 55 [°C]. Calculer alors P_R [kW], l'énergie récupérable sur le fluide frigorigène entre les points 4 et 5. Les points sont repérés sur le circuit frigorifique de l'**annexe 11** (page 20).

3.4.2. Calculer le débit d'eau noté Q_{v_o} [m³/h] à faire circuler dans cet échangeur pour un écart sur l'eau de 10 K et en considérant un rendement d'échangeur égal à 1 (on rappelle le C_p eau = 4,18 [kJ/kg.K]).

3.5. L'installation permet de valoriser une partie de l'énergie rejetée par la machine frigorifique, notamment pour la fonte de la glace obtenue par raclage de la piste, pour le préchauffage de l'air neuf de la piscine en hiver et aussi pour le préchauffage de l'eau d'appoint bassin. Une analyse énergétique sur une période d'un mois d'exploitation en conditions optimales de récupération a permis d'évaluer :

- La consommation électrique de l'installation : 108 000 kWh.
- La production frigorifique : 248 000 kWh.
- La récupération d'énergie : 285 000 kWh.

3.5.1. Calculer l'**efficacité de la machine** (ramenée sur le mois d'exploitation étudié) en l'assimilant à une thermofrigopompe (on s'intéresse simultanément aux productions de froid et de chaud).

3.5.2. Sans cette récupération d'énergie le coût de fonctionnement serait majoré par une consommation de gaz que l'on estime équivalente d'un point de vue énergétique à la récupération effectuée. On considère le coût du **kWh électrique à 0,105 € TTC** et le coût du **kWh gaz à 0,073 € TTC** (base des tarifications considérées au moment de l'étude). Sur le mois d'exploitation étudié, calculer le coût de fonctionnement supplémentaire (en €) si la récupération d'énergie n'avait pas été mise ne œuvre.

3.5.3. On considère qu'une consommation énergétique de **1 kWh produit 0,09kg de CO₂**. Estimer la quantité équivalente de CO₂ non rejetée dans l'atmosphère sur le mois d'exploitation grâce à la récupération d'énergie.

▪ PARTIE IV – ÉLABORATION DE DOCUMENTS D'EXÉCUTION.

Suite à un bilan d'exploitation annuel de la machine frigorifique, deux constats apparaissent :

- la récupération d'énergie n'est pas optimale tout au long de l'année, en particulier l'été lorsqu'il n'est plus nécessaire de préchauffer l'air neuf,
- le maintien d'une température de condensation à 40°C est impossible par forte chaleur (température extérieure supérieure à 30°C) ce qui entraîne une augmentation des puissances électriques absorbées par les compresseurs.

La solution retenue consiste à la mise en place d'un échangeur type désurchauffeur placé au refoulement des compresseurs permettant une récupération d'énergie estimée à la question 3.4. Initialement, le réchauffage de l'eau des bassins est assuré par un échangeur à plaques alimenté en eau chaude par une chaudière gaz. Les besoins varient entre 100 et 200 kW.

Le désurchauffeur doit permettre d'assurer le réchauffage de l'eau des bassins afin de réduire la consommation de gaz. Cependant, la puissance récupérée maximale est de l'ordre de 120 kW et ne permet pas de couvrir l'ensemble des besoins énergétiques. Les deux échangeurs, récupération et chauffage, peuvent donc fonctionner simultanément.

Cette solution offre également l'avantage de permettre une meilleure évacuation de l'énergie calorifique de la machine frigorifique et d'éviter une montée de la HP par forte chaleur en été. L'emplacement de ce désurchauffeur apparaît sur le schéma de principe (page 22 : document annexe 13) ainsi que les vannes manuelles qui permettent l'intervention.

*4.1. Détailler le **mode opératoire de mise en place de ce désurchauffeur**, en respectant les règles de mise en œuvre et d'intervention fixées par les bonnes pratiques professionnelles et la réglementation en vigueur.*

- Fermeture des robinets si nécessaire (indiquer les repères des robinets).
- Récupération du fluide frigorigène si nécessaire.
- Montage du désurchauffeur.
- Contrôle de l'étanchéité du circuit.
- Remise en service de l'installation.

*4.2. Compléter le **schéma de principe** (page 31 : **document réponse 8**) en représentant le circuit hydraulique assurant la liaison entre le désurchauffeur et l'échangeur de récupération. Ce circuit doit comprendre au minimum :*

- Vanne trois voies de régulation assurant un débit constant coté désurchauffeur et régulant la température d'eau en entrée de cet échangeur.
- Vannes d'isolement.
- Filtre.
- Vase d'expansion.
- Pompe de circulation.
- Dispositif de mesure des pressions amont / aval filtre et pompe.
- Purgeur d'air (point haut à l'entrée du désurchauffeur).

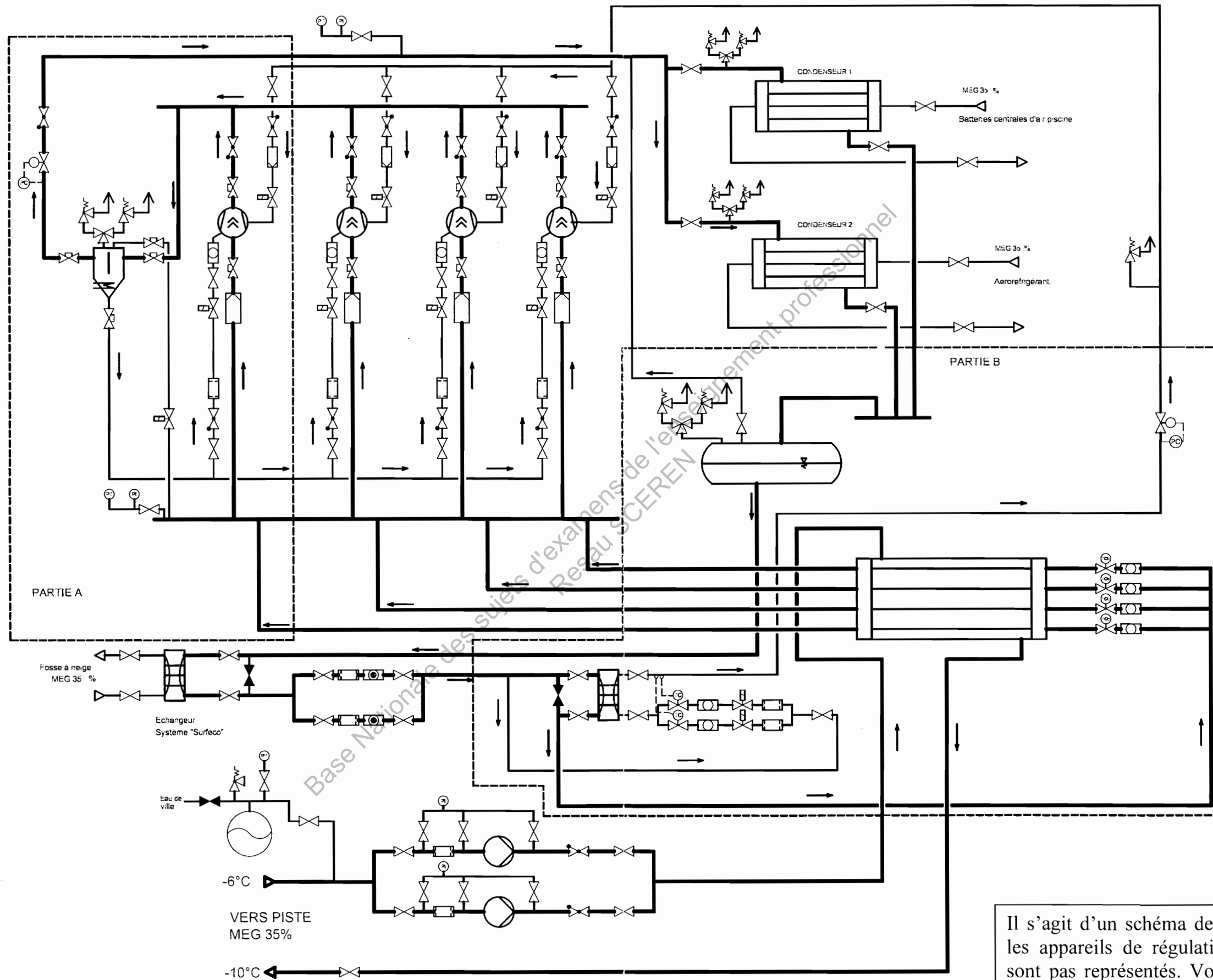
4.3. Représenter sur ce document le schéma fonctionnel de régulation de la vanne trois voies.

BTS Fluides Énergies Environnements		Session 2010
E3 - Étude des Installations - Option C	FECEISI	Page 8 sur 31

III – DOCUMENTS RESSOURCES

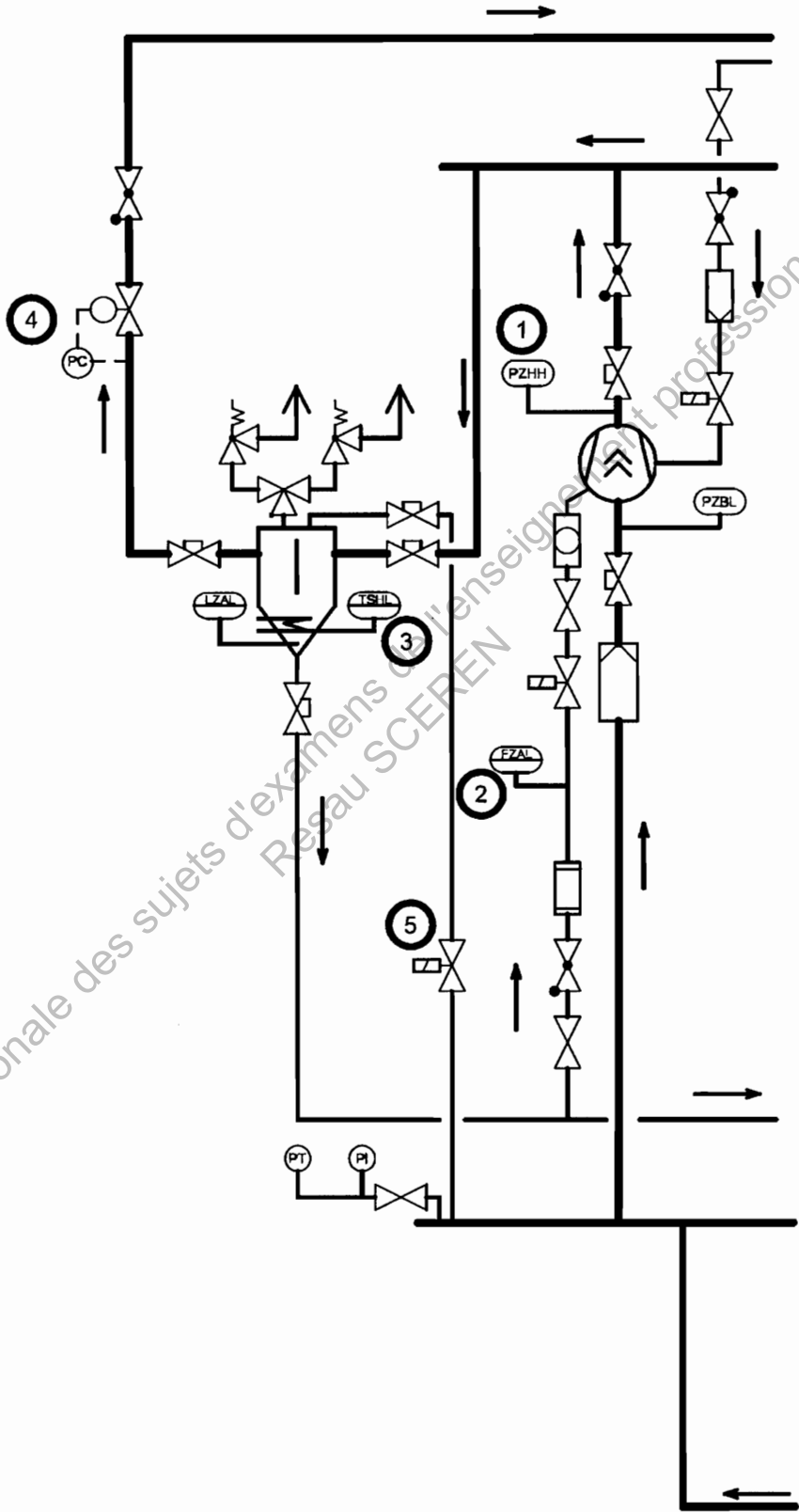
Document annexe 1 : schéma de principe général.....	page 10/31
Document annexe 2 : schéma de principe partie A.....	page 11/31
Document annexe 3 : schéma de principe partie B.....	page 12/31
Document annexe 4 : évaporateur dry-ex	page 13/31
Document annexe 5 : détendeurs électroniques.....	page 14/31
Document annexe 6 : dalle de piste	page 15/31
Document annexe 7 : caractéristiques compresseur avec économiseur.....	page 16/31
Document annexe 8 : caractéristiques compresseur sans économiseur.....	page 17/31
Document annexe 9 : boucles hydrauliques condensation	page 18/31
Document annexe 10 : graphes fonctionnels boucles primaire 2	page 19/31
Document annexe 11 : schéma frigorifique avec points du cycle	page 20/31
Document annexe 12 : détendeurs thermostatiques.....	page 21/31
Document annexe 13 : schéma de principe avec désurchauffeur	page 22/31

Document annexe 1



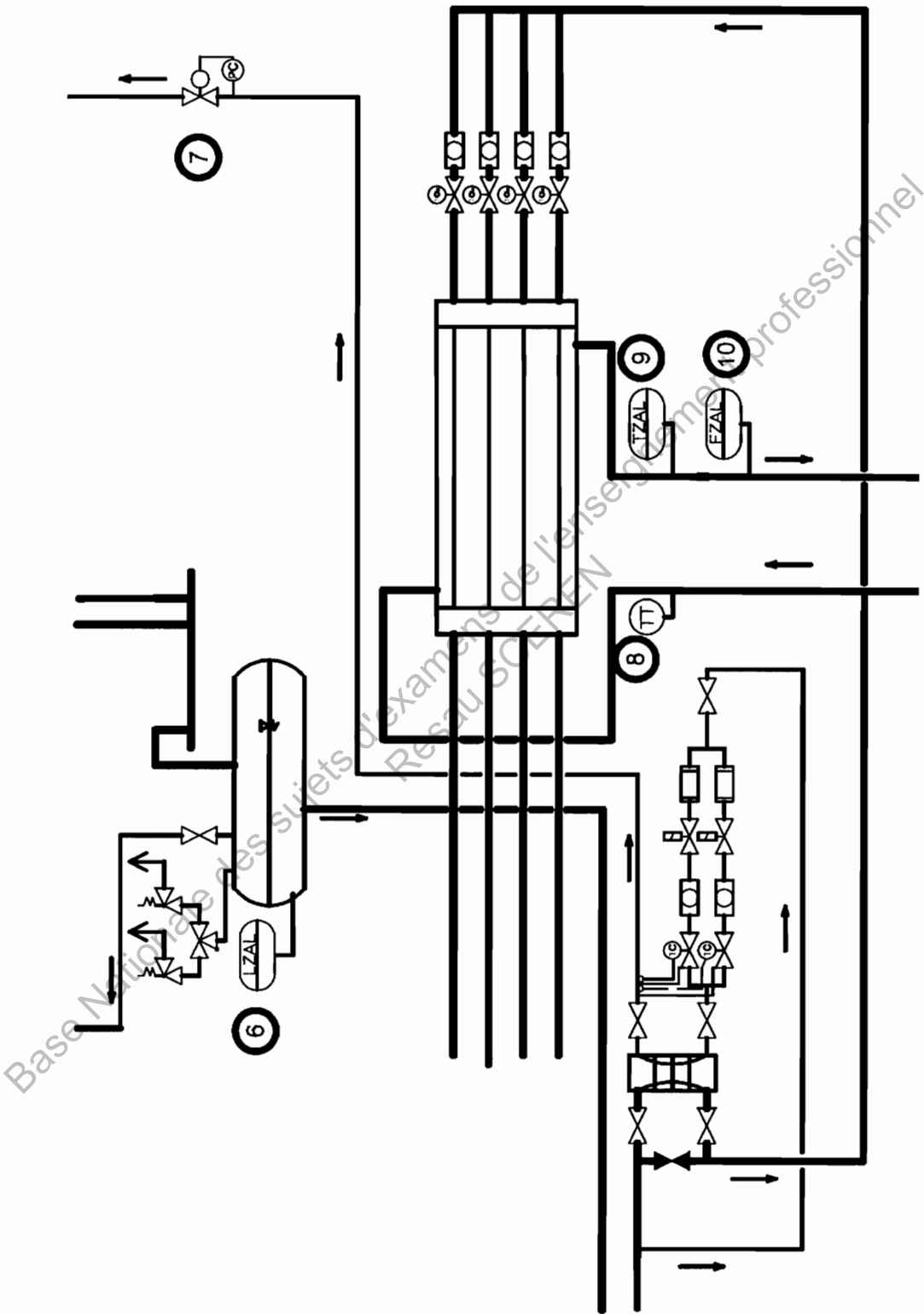
Il s'agit d'un schéma de principe simplifié et les appareils de régulation et de sécurité ne sont pas représentés. Voir les annexes 2 et 3 pour plus de détails.

Schéma de principe partie A



Base Nationale des sujets d'examens d'enseignements professionnels
 Réseau SCEREN

Schéma de principe partie B



Document annexe 4

ALFA LAVAL
VIA DELLE ALBERE 36045 ALONTE (VI) ITALY



EVAPORATEUR MULTITUBULAIRE smarTube 2.34 - European Products

Série	Dryplus3	
Modèle / Configuration	DXQ1100 / BT	
Nombre de circuits	4	
Matériau des tubes	CU	
Puissance désirée	600,00	kW
T°entrée/sortie glycol demandée	-6,00 / -10,00	°C
Puissance calculée	611,00	kW
Marge	+1,8	%
Catégorie PED	II	-
Surface d'échange (ext.)	71,85	m ²
CÔTÉ VIROLE		
Fluide	Ethylène glycol 35,0 %	
Température entrée/sortie	-6,00 / -10,07	°C
Débit	142,568	m ³ /h
Perte de charge	50,84	kPa
Facteur d'encrassement	4,30E-05	m ² K/W
Densité moyenne	1062	kg/m ³
Chaleur spécifique moyenne	3567	J/kgK
Cond. ther. moyenne	0,464	W/mK
Viscosité moyenne	6,99	cP
Point de congélation	-19,61	°C
CÔTÉ TUBES		
Fluide	R507	
Température de cond. (bulle)	40,00	°C
DT sous-refroidissement	16,00	K
Temp. d'évap. (rosée)	-15,00	°C
Pression d'évaporation (a)	3,85	bar
Titre en vapeur	0,30	kg/kg
Température début évap.	-12,96	°C
DT surchauffe	5,00	K
Vitesse (phase vapeur)	9,77	m/s
Débit	4,929	kg/s
Perte de charge	27,54	kPa
Te (rosée) à puissance voulue	-14,82	°C
Volume côté réfrigérant	149,00	dm ³
Volume côté saumure	252,00	dm ³
Diamètre extérieur virole x L	457 x 2790	mm
Connexions std côté saumure (entrée-sortie)	J8" / J8"	
Connexions std côté refr. (entrée-sortie)	FA35 / FB67	

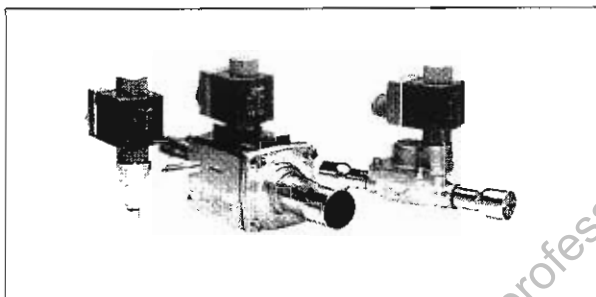
Document annexe 5

Danfoss

Fiche technique **Détendeurs électroniques**
types AKV 10, AKV 15 et AKV 20

ADAP-KOOL®

Introduction



Les AKV sont des détendeurs à commande électrique pour les installations frigorifiques. Ils conviennent aux réfrigérants CFC, HCFC et HFC.

Leur régulation est normalement assurée par un régulateur de la gamme ADAP-KOOL® Danfoss.

Les composants constitutifs des détendeurs AKV sont livrés comme suit :

- Détendeur séparé
- Bobine séparée avec boîte à bornes ou câble
- Pièces détachées : partie supérieure, orifice et filtre

La capacité de chaque détendeur est indiquée par un chiffre intégré dans la désignation de type. Ce chiffre représente le diamètre de l'orifice en question. Un détendeur avec orifice 3, par exemple, porte la désignation AKV 10-3. Le bloc orifice est remplaçable.

Les détendeurs AKV 10 couvrent les capacités de 1 kW à 16 kW (R 22) ; ils sont regroupés en

7 gammes de capacité.

Les AKV 10 s'utilisent pour les vitrines frigorifiques.

Les AKV 15 sont en fonte (GGG40,3), leur conception étant conforme aux normes de sécurité européennes ; ils couvrent les capacités de 25 kW à 100 kW (R 22) et sont regroupés en 4 gammes de capacité.

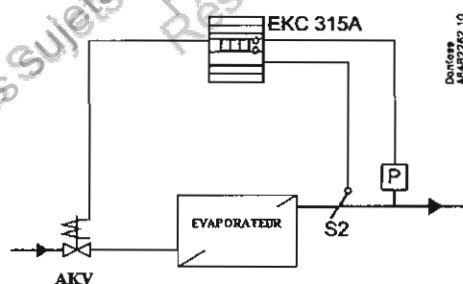
Les AKV 15 s'utilisent pour les chambres froides

Les détendeurs AKV 20 couvrent les capacités de 100 kW à 630 kW (R 22) ; ils sont regroupés en 5 gammes de capacités.

Les AKV 20 s'utilisent pour les refroidisseurs d'eau.

Caractéristiques générales

- Pour les réfrigérants CFC, HCFC et HFC
- Aucun ajustage
- Large gamme de régulation
- Bloc orifice remplaçable
- Détendeur et électrovanne
- Grand choix de bobines c.c. et c.a.



Utilisation

L'ensemble régulateur et détendeur est idéal pour les installations qui nécessitent une régulation précise de la surchauffe et de la température par le refroidissement.

Voici des exemples :

- Entreposage négatif (refroidisseurs d'air)
- Process industriels (refroidisseurs d'eau)
- Circuits de climatisation

Avantages obtenus

- Le remplissage de l'évaporateur est optimal quelles que soient les variations de charge et de pression d'aspiration.
- Economies d'énergie intéressantes : la régulation adaptative de l'injection de réfrigérant engendre une optimisation de l'évaporateur d'où une pression d'aspiration élevée
- Régulation ultraprécise de la température du médium avec cette régulation combinée d'évaporation et de température
- La surchauffe est maintenue à la valeur minimum pendant que la température du médium est régulée par le thermostat.

Fonctions

- Régulation de la surchauffe
- Régulation de la température
- Fonction MOP
- Entrée ON/OFF pour marche/arrêt de la régulation
- Signal de sortie suivant la température affichée ou la référence de température
- Alarme en cas de dépassement des limites réglées
- Sortie de relais électrovanne
- Régulation PID
- Signal de sortie suivant la température affichée

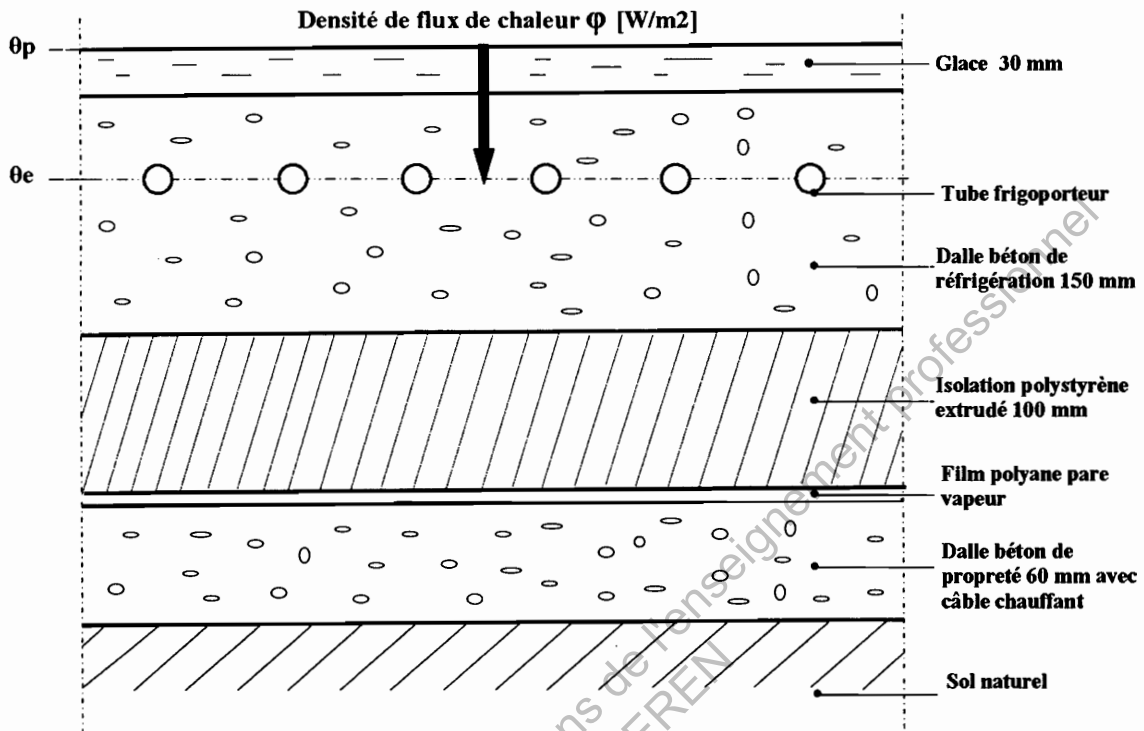
Système

La surchauffe est régulée dans l'évaporateur par un transmetteur de pression P et un capteur de température S2.

Le détendeur AKV est à impulsions.

Si le détendeur AKV est installé, il fait également fonction d'électrovanne.

Dalle de piste : échanges thermiques et entretien



- La densité de flux de chaleur ϕ descendant sur la piste dépend **des apports permanents** (convection avec l'air qui « lèche » la piste – rayonnement par les parois et plafond de la patinoire – congélation de l'eau qui se condense sur la piste) et **des apports ponctuels** (frottements des patins à glace – éclairage – opérations de surfaçage par raclage de la piste et dépôt d'eau chaude).
On estime que la valeur moyenne sur 24 heures de ce flux ϕ varie de 180 à 230 W/m².

- L'eau glycolée en circulation dans la piste doit donc combattre ces apports afin de maintenir un régime établi des températures selon la formule :

$$\theta_p - \theta_e = R_{th} \times \phi$$

Avec θ_p : température de surface de piste [°C]


θ_e : température de l'eau glycolée [°C]

R_{th} : résistance thermique [m².K/W] évaluée entre l'axe des tubes frigoporteur et la surface de piste. Une augmentation de l'épaisseur de glace produit une augmentation de cette résistance thermique.

- **L'entretien de la piste** consiste d'une part à effectuer un **raclage de la glace** (décapage d'une petite épaisseur de glace pour réduire les aspérités de surface) et d'autre part à **surfaçer la piste** en répandant un film d'eau chaude à 70°C (en se solidifiant l'eau va effacer les aspérités et reconstituer une surface lisse). L'opération de surfaçage peut être effectuée jusqu'à quatre fois par jour et entraîner une augmentation de l'épaisseur de glace de 3 mm en l'absence de raclage.
- Afin d'éviter la fonte de la glace sur la piste, la température de surface doit être maintenue à une valeur inférieure à -2°C.

Document annexe 7

Caractéristiques de fonctionnement compresseur AVEC système économiseur

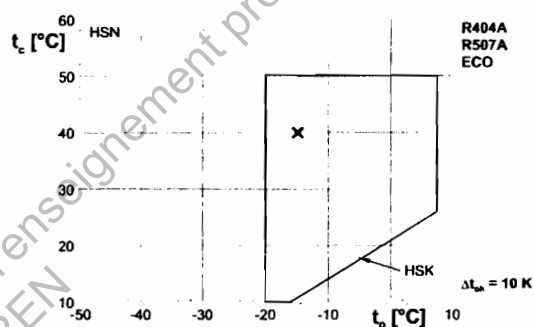
 Version 5.1	Sujet El Patinoire
--	--------------------

Détermination du compresseur: Compresseurs à vis semi-hermétiques

Données de départ

Puiss. frigorifique	150kW
Fluide frigorigène	R507A
Température de référence	Point de rosée
Temp. d'évaporation	-15°C
Temp. de condensation	40°C
Mode de travail	ECO
Température de liquide	Auto
Temp. gaz chauds	80°C
Surchauffe à l'aspiration	10K
Surchauffe utilisable	100%
Tension d'alimentation	400V-3-50Hz
Régulateur puissance	100%

Limites d'application (ECO)



Résultat

Modèle de compress. **HSK7471-90-40P**

Puiss. frigorifique	149.5 kW
Puiss. frigorifique *	154.2 kW
Puiss. évaporateur	149.5 kW
Puiss. absorbée	66.4 kW
Intensité (400V)	111.8 A
Plage des tensions	380-415V
Puis. de condensation	216 kW
Facteur de puiss.	2.25
Facteur de puiss. *	2.32
Débit de masse BP	4195 kg/h
Débit de masse HP	5098 kg/h
Mode de travail	ECO
Temp. de liquide (sr)	23.8 °C
Débit massique ECO	903 kg/h
Puiss. sous-refroidisseur	29.8 kW
Temp. ECO saturée	13.80 °C
Pression ECO	9.50 bar(a)
Débit volumique d'huile	1.85 m³/h
Gaz HP sans refroidis.	66.4 °C

*selon EN12900 (surchauffe des gaz aspirés 10K, liquide sous refroidit dans l'ECO avec 5K de deltaT)

Document annexe 8

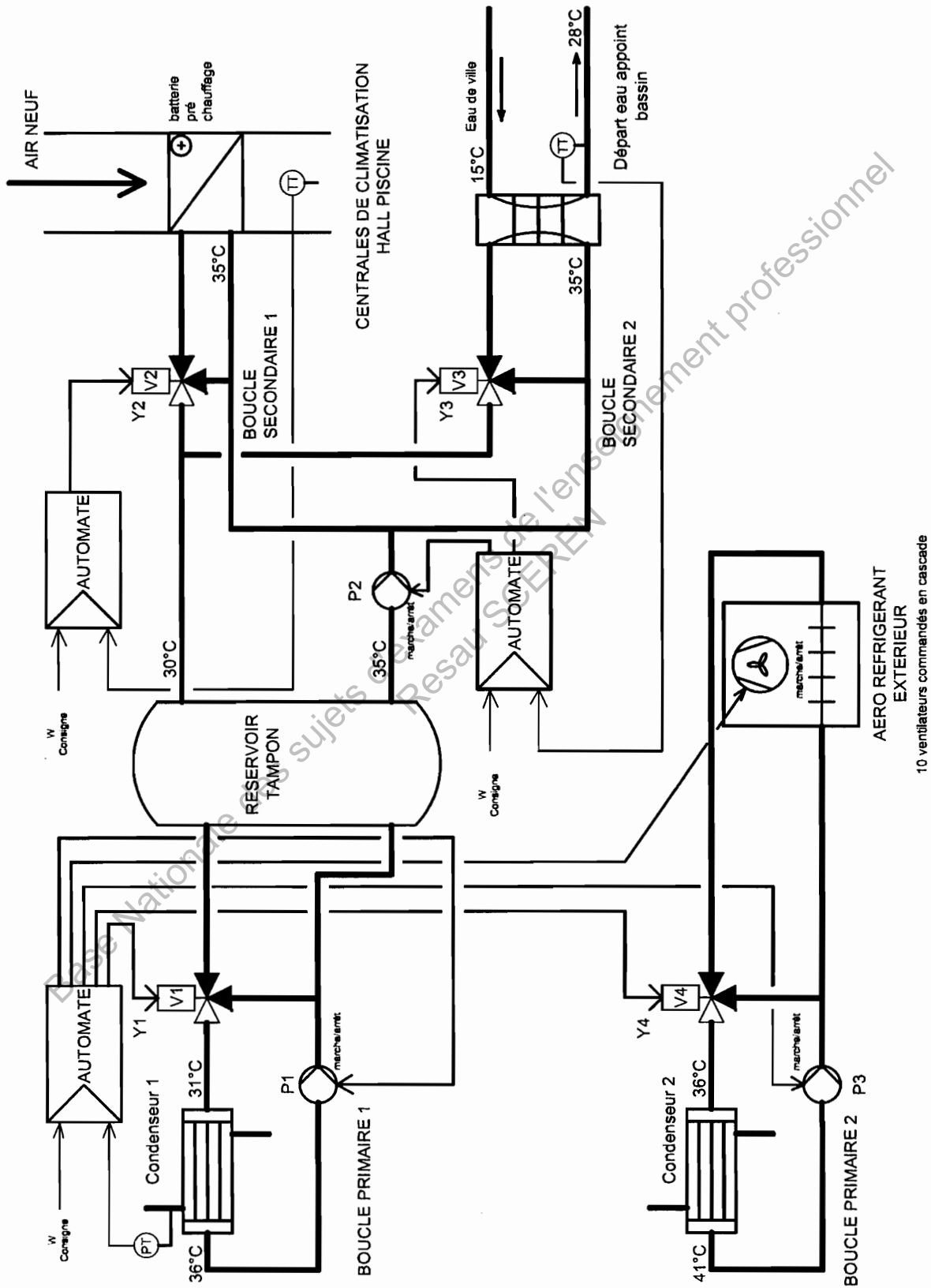
Caractéristiques de fonctionnement compresseur SANS système économiseur

Données valables avec R-507

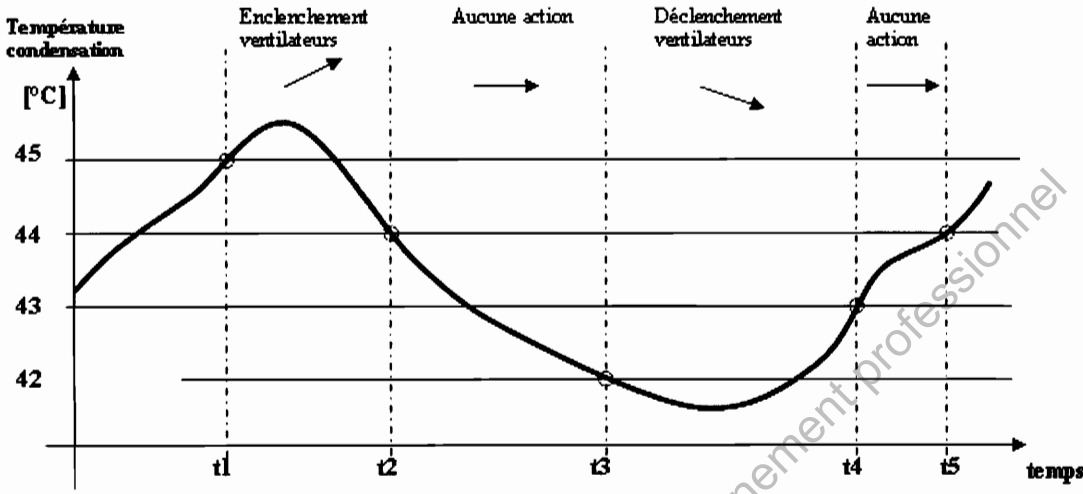
Données de puissance 50 Hz
se référant à surchauffe à l'aspiration de
10 K; sans sous-refroidissement de
liquide ①

Climatisation / Moyennes températures															
Compresseur type	Temp. de Cond. °C	Puissance frigorifique Q_0 [Watt]							Puissance absorbée P_e [kW]						
		Température d'évaporation °C													
		7,5	5	0	-5	-10	-15	-20	7,5	5	0	-5	-10	-15	-20
HSK5343-30	30	103900	95000	79100	65400	53700	43600	35050	19,92	19,58	18,94	18,35	17,81	17,32	16,88
	40	89400	81600	67700	55700	45400	36650	29200	23,50	23,20	22,50	22,00	21,50	21,00	20,60
	50	74000	67400	55400	45150	36400	29000	22750	28,40	28,10	27,50	27,00	26,40	25,90	25,30
HSK5353-35	30	124100	113600	94700	78400	64400	52400	42150	23,50	23,10	22,40	21,70	21,10	20,50	20,00
	40	106900	97800	81100	66900	54600	44200	35400	27,80	27,50	26,80	26,20	25,60	25,10	24,60
	50	88900	81000	66800	54700	44300	35450	28000	33,80	33,50	32,90	32,30	31,70	31,30	30,80
HSK5363-40	30	146700	134400	112200	93000	76400	62300	50200	27,00	26,60	25,80	25,00	24,30	23,60	23,00
	40	127300	116400	96700	79700	65100	52700	42050	32,20	31,80	31,00	30,30	29,60	28,90	28,30
	50	106100	96600	79700	65100	52700	42050	33050	39,10	38,70	38,00	37,20	36,50	35,80	35,20
HSK6451-50	30	181800	166300	138600	114700	94100	76500	61500	29,40	29,00	28,40	28,00	27,70	27,40	27,00
	40	155800	142300	118200	97400	79500	64300	51500	35,60	35,40	35,00	34,60	34,20	33,80	33,30
	50	128200	116800	96300	78700	63700	51000	40300	43,30	43,20	42,90	42,40	41,90	41,40	40,90
HSK6461-60	30	216000	197800	165100	136800	112500	91600	73800	38,90	38,30	37,20	36,10	35,10	34,20	33,40
	40	186800	170800	141900	117000	95700	77300	61800	46,30	45,70	44,70	43,60	42,70	41,70	40,70
	50	154300	140600	115900	94700	76500	61000	47900	55,80	55,30	54,30	53,20	52,20	51,20	50,10
HSK7451-70	30	256100	243400	202800	167600	137500	111600	89700	38,70	39,00	39,50	40,00	40,50	40,80	40,90
	40	228200	208300	172700	142100	115000	93500	74600	49,70	50,00	50,50	50,90	51,20	51,40	51,40
	50	186800	169900	138800	114000	91900	73200	57500	63,70	64,20	64,80	65,10	65,20	65,10	64,90
HSK7461-80	30	302000	276400	230500	190700	156600	127300	102400	48,00	47,40	46,50	45,90	45,40	44,90	44,30
	40	259100	236700	196600	162000	132400	107200	85800	58,70	58,30	57,70	57,10	56,60	56,90	56,20
	50	213500	194500	160400	131200	106300	85100	67300	72,30	72,20	71,80	71,20	70,60	69,80	69,00
HSK7471-90	30	326900	299400	250000	207300	170400	138900	111900	57,10	56,30	54,60	53,00	51,40	50,00	48,80
	40	283000	258700	215100	177400	145000	117300	93700	68,00	67,20	65,50	63,90	62,40	61,00	59,80
	50	234000	213200	175900	143700	116200	92700	72900	81,80	81,00	79,40	77,90	76,40	75,00	73,60

Boucles hydrauliques circuit condensation



Graphes fonctionnels boucle primaire 2



Entre t1 et t2: la régulation enclenche les ventilateurs avec une temporisation.
 Entre t2 et t3: la régulation ne modifie pas le nombre de ventilateur en fonctionnement.
 Entre t3 et t4: la régulation déclenche les ventilateurs avec une temporisation.
 Entre t4 et t5: la régulation ne modifie pas le nombre de ventilateur en fonctionnement.

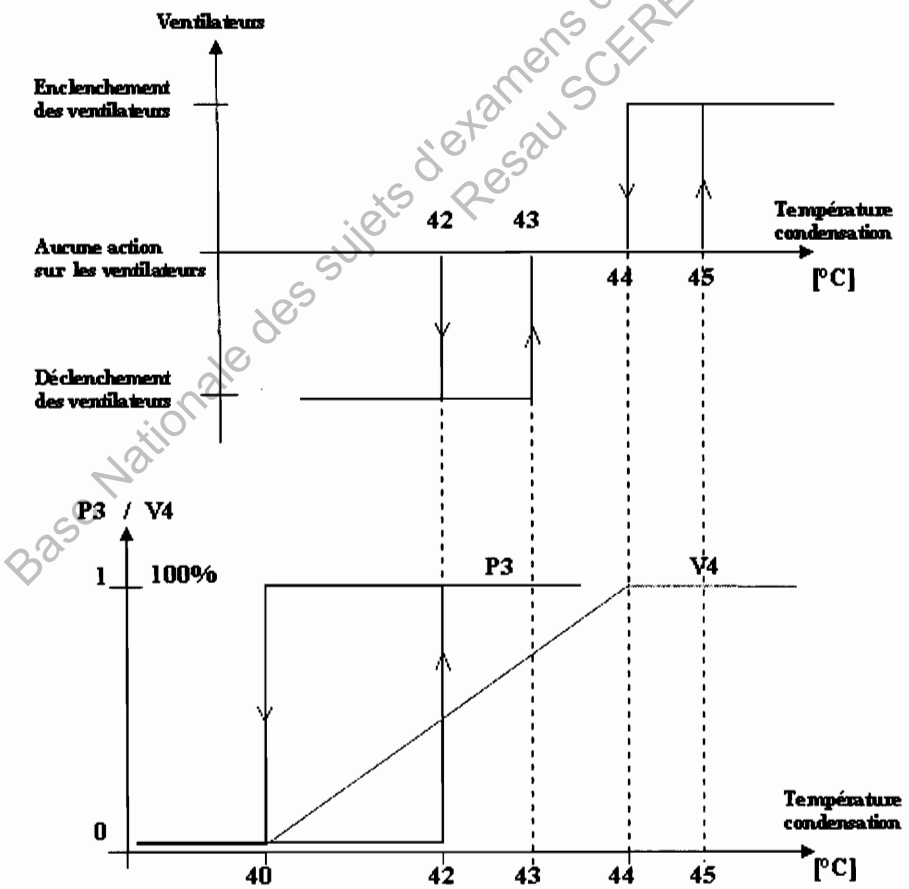
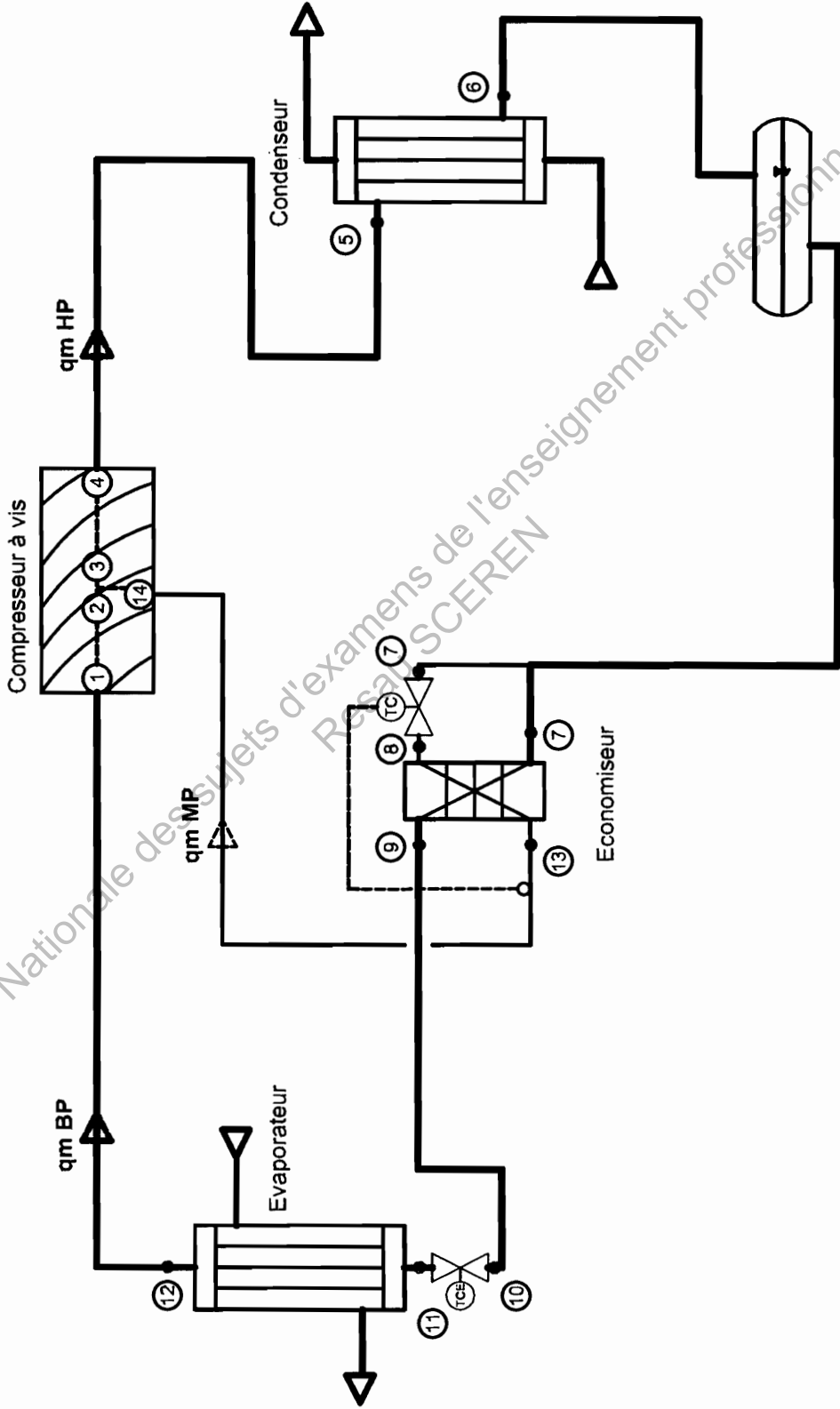


Schéma frigorifique avec points du cycle



Document annexe 12

Alco Controls

Détendeurs Thermostatiques Série T
 Conception modulaire avec mécanismes interchangeables



Caractéristiques

- Nombreuses combinaisons permettant un stock réduit de composants et facilitant le choix à l'utilisation
- Excellente stabilité grâce aux forces d'équilibrage générées par une membrane largement dimensionnée
- Matériaux de haute qualité et construction assurant une grande fiabilité et durée de vie
- Régulation précise de la puissance grâce à un mécanisme à double siège (sur TJRE, TERE, TIRE, THRE)
- Fonctionnement bi-flow pour les applications de pompes à chaleur
- En standard, capillaire de 1,5m sur TCLE, TJRE et 3m sur TERE, TIRE & THRE
- PS: 31 bar, TS: -45 à +65°C
- Marquage CE non exigé conformément à art. 3.3 PED 97/23 EC

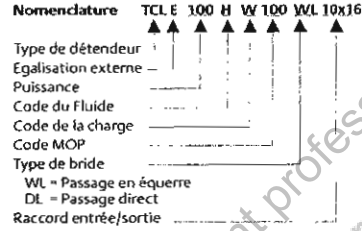


Tableau de sélection des mécanismes

Série	R 134a		R 22		R 404A/R 507		R 407C		Mécanisme d'orifice
	Type	Capacité nominale kW	Type	Capacité nominale kW	Type	Capacité nominale kW	Type	Capacité nominale kW	
TCLE	25 MW	1,5	50 HW	1,9	25 SW	1,3	50 NW	2,1	X 22440-B1B
	75 MW	2,9	100 HW	3,7	75 SW	2,6	100 NW	4,0	X 22440-B2B
	150 MW	6,1	200 HW	7,9	150 SW	5,6	200 NW	8,5	X 22440-B3B
	200 MW	9,3	250 HW	11,9	200 SW	8,4	300 NW	12,9	X 22440-B3,5B
	250 MW	13,5	300 HW	17,3	250 SW	12,2	400 NW	18,7	X 22440-B4B
	350 MW	17,3	500 HW	22,2	400 SW	15,7	550 NW	24,0	X 22440-B5B
	550 MW	23,6	750 HW	30,4	600 SW	21,5	750 NW	32,9	X 22440-B6B
	750 MW	32,0	1000 HW	41,1	850 SW	29,0	1000 NW	44,4	X 22440-B7B
	900 MW	37,2	1200 HW	47,8	1000 SW	33,8	1150 NW	51,7	X 22440-B8B
TJRE	11 MW	45	14 HW	58	12 SW	40	14 NW	62	X 11873-B4B
	13 MW	57	18 HW	74	14 SW	51	17 NW	80	X 11873-B5B
TERE	16 MW	71	22 HW	91	18 SW	63	21 NW	99	X 9117-B6B
	19 MW	81	26 HW	104	20 SW	72	25 NW	112	X 9117-B7B
	25 MW	112	35 HW	143	27 SW	99	33 NW	155	X 9117-B8B
TIRE	31 MW	135	45 HW	174	34 SW	120	42 NW	188	X 9117-B9B
	45 MW	174	55 HW	223	47 SW	154	52 NW	241	X 9166-B10B
THRE	55 MW	197	75 HW	253	61 SW	174	71 NW	273	X 9144-B11B
	68 MW	236	100 HW	302	77 SW	209	94 NW	327	X 9144-B13B

$$Q_n = Q_o \times K_t \times K_{ap}$$

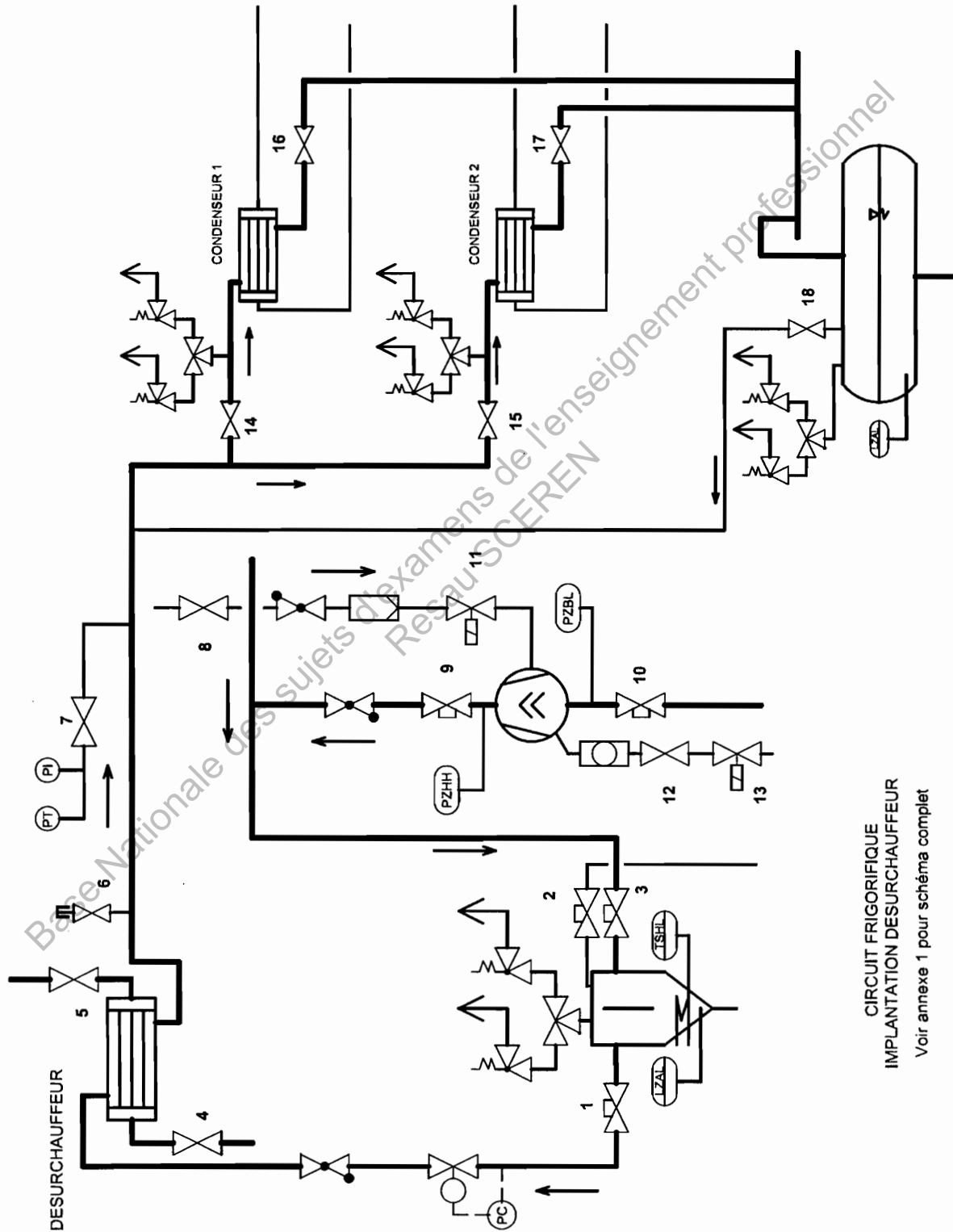
- Q_n : Puissance nominale
- Q_o : Puissance frigorifique requise
- K_t : Facteur de correction pour température d'évaporation et du fluide
- K_{ap} : Facteur de correction pour chute de pression au détendeur

Puissance nominale Q_o donnée aux conditions suivantes:

Fluide	Température d'évaporation	Température de condensation	Sous refroid.
	R 407C	+4°C	+38°C p. de rosée
R 22, R 134a, R 404A/R 507	+4°C	+43°C p. de rosée	1K

Température du fluide à l'entrée du détendeur °C	R 507															
	Facteur de correction K_t Température d'évaporation °C															
°C	+30	+25	+20	+15	+10	+5	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30	-35	-40	-45
+60	1,54	1,57	1,61	1,65	1,71	1,76	1,83	1,90	1,98	2,06	2,14	2,22	2,30	2,38	2,46	2,54
+55	1,30	1,33	1,36	1,39	1,43	1,47	1,52	1,57	1,62	1,67	1,72	1,77	1,82	1,87	1,92	1,97
+50	1,15	1,17	1,19	1,22	1,24	1,28	1,31	1,35	1,40	1,44	1,48	1,52	1,56	1,60	1,64	1,68
+45	1,03	1,05	1,07	1,09	1,11	1,14	1,17	1,20	1,23	1,25	1,28	1,31	1,34	1,37	1,40	1,43
+40	0,94	0,96	0,97	0,99	1,01	1,03	1,06	1,08	1,11	1,13	1,15	1,18	1,20	1,22	1,24	1,26
+35	0,87	0,88	0,90	0,91	0,93	0,95	0,97	0,99	1,01	1,03	1,05	1,07	1,09	1,11	1,13	1,15
+30	0,81	0,82	0,83	0,85	0,86	0,88	0,89	0,91	0,93	0,94	0,96	0,97	0,99	1,00	1,02	1,03
+25		0,77	0,78	0,79	0,80	0,82	0,83	0,85	0,87	0,88	0,90	0,91	0,92	0,94	0,95	0,96
+20			0,73	0,74	0,75	0,77	0,78	0,79	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88
+15				0,70	0,71	0,72	0,73	0,75	0,76	0,77	0,78	0,79	0,80	0,81	0,82	0,83
+10					0,67	0,68	0,69	0,70	0,72	0,73	0,74	0,75	0,76	0,77	0,78	0,79
+5						0,64	0,65	0,67	0,68	0,69	0,70	0,71	0,72	0,73	0,74	0,75
0							0,62	0,63	0,64	0,65	0,66	0,67	0,68	0,69	0,70	0,71
-5								0,60	0,61	0,62	0,63	0,64	0,65	0,66	0,67	0,68
-10									0,58	0,59	0,60	0,61	0,62	0,63	0,64	0,65
Facteur de correction K_{ap}																
Δp (bar)	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	8,0	9,0
K_{ap}	4,63	3,27	2,67	2,31	2,07	1,89	1,75	1,64	1,54	1,46	1,40	1,34	1,28	1,24	1,16	1,09
Δp (bar)	10,0	11,0	12,0	13,0	14,0	15,0	16,0	17,0	18,0	19,0	20,0	21,0	22,0	23,0	24,0	25,0
K_{ap}	1,03	0,99	0,94	0,91	0,87	0,85	0,82	0,79	0,77	0,75	0,73	0,71	0,70	0,68	0,67	0,65

Schéma de principe avec désurchauffeur



CIRCUIT FRIGORIFIQUE
IMPLANTATION DESURCHAUFFEUR
Voir annexe 1 pour schéma complet

IV – DOCUMENTS RÉPONSES

Document réponse 1 : analyse du système	page 24/31
Document réponse 2 : analyse fonctionnelle partie A	page 25/31
Document réponse 3 : analyse fonctionnelle partie B	page 26/31
Document réponse 4 : analyse technique de l'injection	page 27/31
Document réponse 5 : graphes fonctionnels des vannes trois voies	page 28/31
Document réponse 6 : diagramme enthalpique.....	page 29/31
Document réponse 7 : tableau caractéristiques points de mesure.....	page 30/31
Document réponse 8 : schéma de principe récupération d'énergie	page 31/31

Base Nationale des sujets d'examens de l'enseignement professionnel
Resau SCEREN

Examen ou concours : _____ Série* : _____

Spécialité/Option : _____

Repère de l'épreuve : _____

Épreuve/sous-épreuve : _____
(Préciser, s'il y a lieu, le sujet choisi)

Numérotez chaque page (dans le cadre en bas de la page) et placez les feuilles intercalaires dans le bon sens.

Document réponse 1

Rayer les réponses incorrectes.

- A chaque question correspondent une ou plusieurs réponses correctes.
- Les questions sont indépendantes.

Q1	Le principe d'une production de froid indirect...
	Nécessite l'usage d'un fluide frigorigène et d'un fluide frigoporteur.
	Ne présente aucun problème vis à vis de l'environnement.
	Nécessite la mise en œuvre d'une boucle hydraulique.
	Permet de réduire la charge en fluide frigorigène (par comparaison avec une production de froid direct)

Q2	Le fluide frigorigène utilisé pour cette installation est du R-507...
	Il s'agit d'un fluide pur de la famille des HFC.
	Ce fluide a un ODP de 0 et n'a donc pas d'effet sur l'ozone stratosphérique.
	Son usage est réglementé et il ne peut être rejeté dans l'atmosphère.
	Ce fluide a un GWP ₁₀₀ de 3300 et ne contribue donc pas à l'effet de serre.

Q3	Le fluide frigoporteur est un mono éthylène glycol (MEG) dosé à 35%...
	Ce fluide n'est pas toxique.
	Il crée des pertes de charge supérieures à celles obtenues avec de l'eau pure.
	Sa chaleur spécifique [kJ/kg.K] est supérieure à celle de l'eau pure.
	Sa température de solidification est inférieure à -10°C.

Q4	Choisir une solution de froid direct... (En comparaison du froid indirect)
	Facilite les retours d'huile compresseurs.
	Accentue la complexité d'une reconversion en fluide frigorigène.
	Permet la détection automatique des fuites de fluide frigorigène.
	Permet d'améliorer l'efficacité énergétique de l'installation.

Q5	Choisir une solution de froid indirect... (En comparaison du froid direct)
	Permet le confinement du fluide frigorigène en salle des machines.
	Augmente le coût total de l'installation.
	Facilite les détections de fuite en fluide frigorigène
	Permet de réduire les coûts de fonctionnement.

Document réponse 2

REPERE	DESIGNATION	RÔLE	GRAPHE FONCTIONNEL
1		Organe de sécurité. Contrôle une valeur maximale de pression côté HP de l'installation. Arrêt du compresseur sur défaut.	
2	Contrôleur de débit		<p>Compresseur</p> <p>Retour huile compresseur</p>
3		Organe de régulation. Permet de réguler la température d'huile dans le séparateur réservoir d'huile à l'arrêt de l'installation (35°C minimum et différentiel de 10K).	
4	Vanne de régulation de pression amont avec commande manuelle d'ouverture forcée		<p>Régulateur de pression - Ouverture</p> <p>Refoulement compresseurs</p>
5	Electrovanne Normalement Fermée		

Document réponse 3

REPÈRE	DESIGNATION	RÔLE	GRAPHE FONCTIONNEL
6			
7		Organe de régulation. Permet de maintenir, à charge partielle, une pression minimale d'évaporation dans l'échangeur économiseur : début d'ouverture de la vanne à 5,5 [bar] relatif et bande proportionnelle de 3 [bar]	
8	Transmetteur de température		X
9	Thermostat de sécurité		
10		Organe de sécurité. Contrôle l'absence de circulation du fluide frigoroporteur dans l'évaporateur multitubulaire (protection antigel). Arrêt du compresseur sur défaut.	

Examen ou concours : _____ Série* : _____
 Spécialité/Option : _____
 Repère de l'épreuve : _____
 Épreuve/sous-épreuve : _____
 (Préciser, s'il y a lieu, le sujet choisi)

Numérotez chaque page (dans le cadre en bas de la page) et placez les feuilles intercalaires dans le bon sens.

Examen ou concours : _____ Série* : _____

Spécialité/Option : _____

Repère de l'épreuve : _____

Épreuve/sous-épreuve : _____

(Préciser, s'il y a lieu, le sujet choisi)

Numérotez chaque page (dans le cadre en bas de la page) et placez les feuilles intercalaires dans le bon sens.

Document réponse 4

Rayer les réponses incorrectes.

- A chaque question correspondent une ou plusieurs réponses correctes.
- Les questions sont indépendantes.

Q1	En détente directe, la surchauffe évaporateur correspond dans tous les cas à l'écart...
	Entre la température de sortie fluide évaporateur et la pression d'évaporation.
	Entre les températures de sortie et d'entrée du fluide à l'évaporateur.
	Entre la température et la température de saturation du fluide en sortie évaporateur.
	Entre la température de sortie d'eau évaporateur et la température d'évaporation.

Q2	Le débit massique de fluide injecté par la vanne d'injection AKV...
	Augmente lorsque la surchauffe mesurée par le régulateur diminue.
	Diminue lorsque la surchauffe mesurée par le régulateur diminue.
	Diminue lorsque la surchauffe mesurée par le régulateur augmente.
	Augmente et permet alors d'assurer une plus grande production frigorifique.

Q3	Lorsque le débit massique de fluide qu'injecte la vanne AKV augmente...
	La puissance frigorifique augmente.
	La puissance frigorifique diminue.
	La puissance frigorifique reste constante.
	La surchauffe évaporateur doit augmenter.

Q4	Le détendeur électronique adaptatif permet...
	De réguler une valeur de surchauffe évaporateur maximale fixée par réglage.
	De réguler une valeur de surchauffe optimale fixée par le régulateur.
	Des économies d'énergie par optimisation de l'échange thermique dans l'évaporateur.
	De réguler une valeur de surchauffe évaporateur constante de 6 [K]

Examen ou concours : _____ Série* : _____

Spécialité/Option : _____

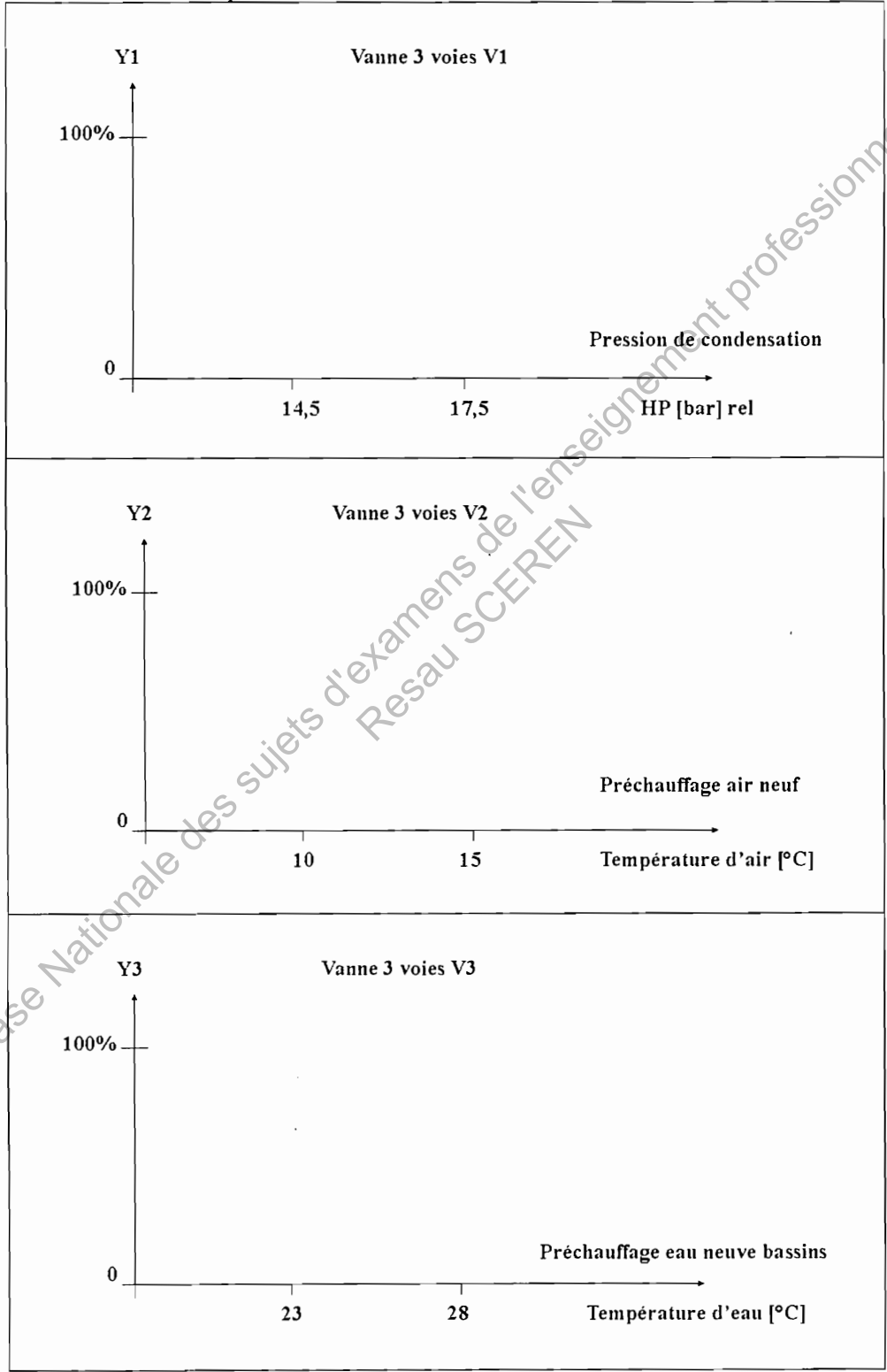
Repère de l'épreuve : _____

Épreuve/sous-épreuve : _____
(Préciser, suivi s'il y a lieu, le sujet choisi)

Numérotez chaque page (dans le cadre en bas de la page) et placez les feuilles intercalaires dans le bon sens.

Document réponse 5

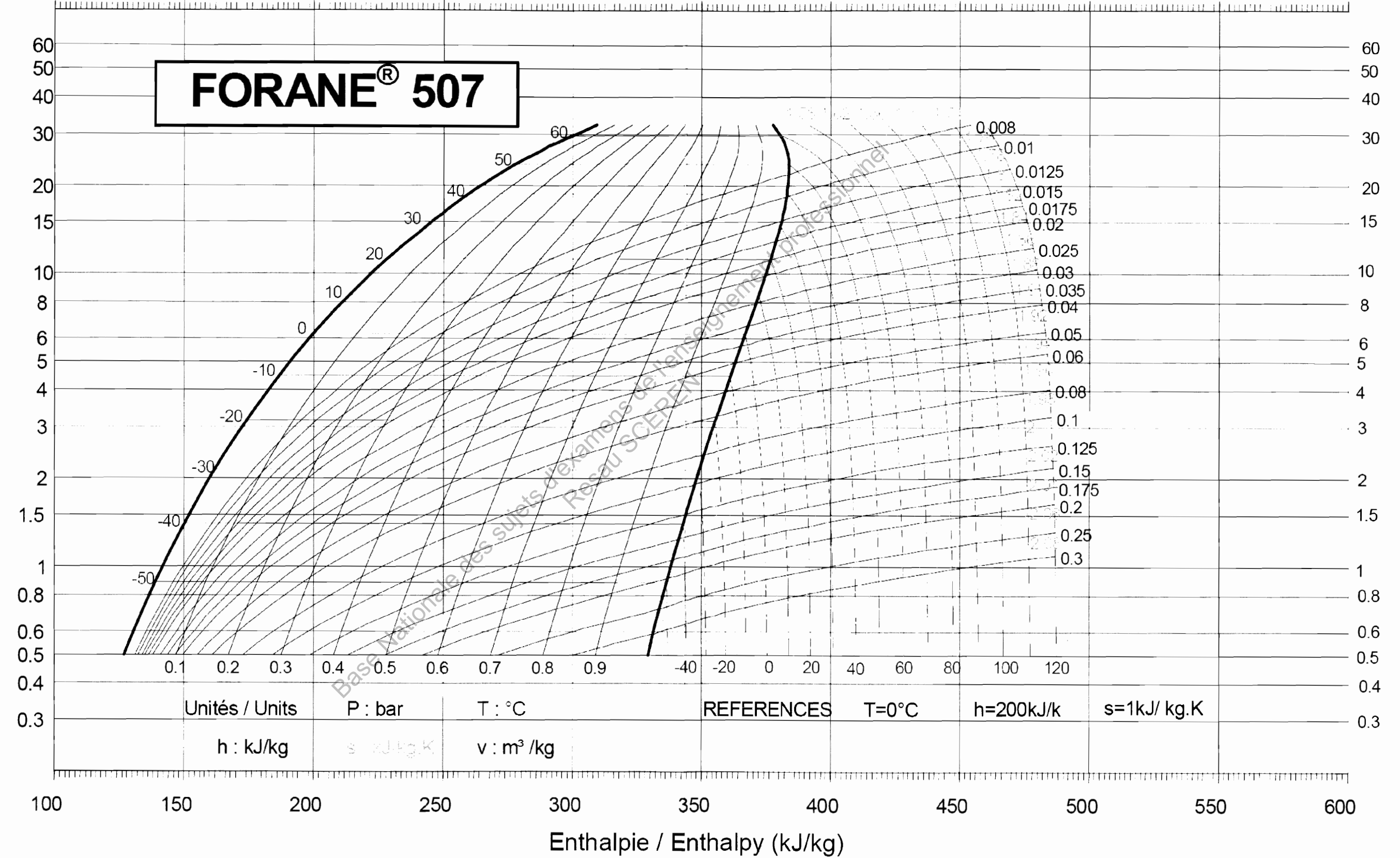
Graphes fonctionnels à compléter :



Pression absolue
Absolute pressure (bar)

100 150 200 250 300 350 400 450 500 550 600

FORANE[®] 507



Examen ou concours : _____ Série* : _____
 Spécialité/Option : _____
 Repère de l'épreuve : _____
 Épreuve/sous-épreuve : _____
 (Préciser, s'il y a lieu, le sujet choisi)

Numérotez chaque page (dans le cadre en bas de la page) et placez les feuilles intercalaires dans le bon sens.

Document réponse 7

Tableau à compléter avec les caractéristiques du fluide en régime établi :

Points	Pression abs. [bar]	Température [°C]	Enthalpie massique [kJ/kg]	Volume massique [dm ³ /kg]
1				54
2	9,5		394	X
3		35	390	X
4	18,7			X
5		70		X
6			260	X
7		40		X
8		14		X
9			234	X
10		24		X
11	3,8			X
12			359	X
13				X
14		19		X

Examen ou concours : _____ Série* : _____

Spécialité/Option : _____

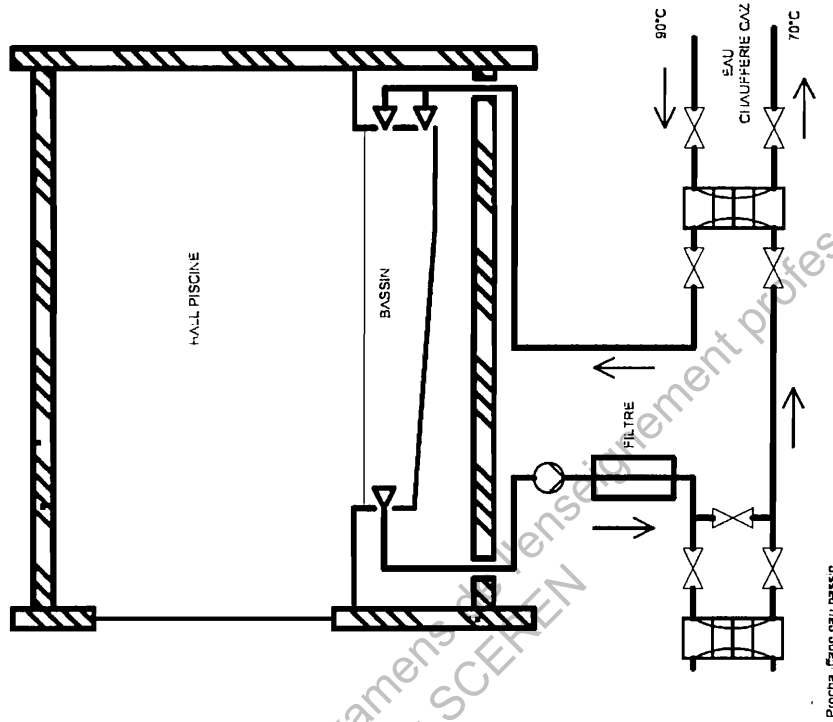
Repère de l'épreuve : _____

Épreuve/sous-épreuve : _____
 (Préciser, suivi s'il y a lieu, le sujet choisi)

Numérotez chaque page (dans le cadre en bas de la page) et placez les feuilles intercalaires dans le bon sens.

Document réponse 8

Schéma de principe récupération d'énergie.



Base Nationale des sujets d'examens d'enseignement professionnel
 Resau SCEREN

