



AICVF
Association des Ingénieurs et techniciens
en Climatique, Ventilation et Froid

partenaire 2024

-weishaupt-

PRIX AICVF JEUNES BAC+2/+3



Session 2024

Durée : 4 heures

Matériels et documents autorisés :

Calculatrice électronique de poche – y compris calculatrice programmable, alphanumérique ou à écran graphique - à fonctionnement autonome, non imprimante, autorisée conformément à la circulaire n° 99186 du 16 novembre 1999.

L'usage de tout document, ouvrage et de tout autre matériel électronique est interdit.

Les téléphones mobiles, tablettes, montres « connectées » et autres appareils communicants doivent être éteints et rangés dans les sacs pendant toute la durée de l'épreuve.

NB : hormis l'entête détachable, la copie que vous rendrez ne devra, conformément au principe d'anonymat, ne comporter aucun signe distinctif, tel que nom, signature, origine, etc.

DOCUMENTS FOURNIS :

Sujet : pages 2 à 28
Documents réponses (à rendre) : pages 29 et 30

COMPOSITION DU SUJET :

	Page	Durées conseillées	Notation (sur 100)
Présentation	3	20-30 mn (lecture complète du sujet)	
Partie 1 : Thermique du bâtiment	5	60 mn	/ 27
Partie 2 : Ventilation	11	50 mn	/ 23
Partie 3 : Réseau de chauffage	13	60 min	/ 27
Partie 4 : Pompe à Chaleur	17	50 min	/ 23

INFORMATIONS AUX CANDIDATS :

- **Les 4 parties sont indépendantes** et au sein d'une même partie, **la plupart des questions peuvent être traitées de manière indépendante.**
- **Chaque partie sera composée sur une copie distincte.**
- Les références des questions doivent être clairement indiquées avant chaque réponse.
- Tout résultat doit être justifié.
- Les renseignements non fournis ou les données supposées manquantes sont laissés à l'initiative du candidat.
- Il sera tenu compte dans la correction de la clarté des réponses, ainsi que de la **qualité graphique de la copie** (présentation, orthographe, etc.)

Construction de la Maison du Campus - CASTRES

Le sujet proposé porte sur la construction de la Maison du Campus située sur la commune de Castres (Tarn). La maîtrise d'ouvrage est assurée par le Syndicat mixte pour le développement de l'enseignement supérieur, de la recherche et du transfert de technologie Sud Tarn.

Le projet consiste en la construction d'un bâtiment à usage de Learning Center, il comporte les activités suivantes :

- un pôle de documentation, soit la Bibliothèque Universitaire unique du Campus ;
- un pôle « cœur de vie du Learning Center », soit un espace de convivialité, un Learning café et des locaux de travail collectif. Cet espace sera en accès-libre et ouvert sur des plages horaires plus large que la bibliothèque universitaire ;
- un pôle administratif, soit des bureaux pour des associations étudiantes ;
- un espace accueil commun et des locaux techniques et sanitaires ;
- un parking.



Figure 1 : Vue d'ensemble du bâtiment de Maison du Campus



Figure 2 : Vue intérieure du bâtiment

PARTIE 1 – Thermique du bâtiment

Les premières questions porteront sur l'étude des transferts de chaleur et de vapeur à travers une paroi du bâtiment. La suite concernera l'analyse de certains points du Récapitulatif Standardisé Energie Environnement.




Transfert de Chaleur dans une paroi

Le coefficient de transmission thermique surfacique U (en $W/(m^2.K)$) d'une paroi se calcul par la relation suivante :

$$U = \frac{1}{R_{si} + \sum_i R_i + R_{se}} \quad R_i = \frac{e_i}{\lambda_i}$$

Avec :

- e_i est l'épaisseur en de la couche i , en m
- λ_i est la conductivité thermique du matériau constitutif de la couche i , en $W/(m.K)$.
- R_i est la résistance thermique de conduction des couches composant la paroi

Orientation de la paroi	Orientation du flux	Schéma	R_{si} [$m^2.K/W$]	R_{se} [$m^2.K/W$]
Verticale (Inclinaison $\geq 60^\circ$)	Horizontal		0,13	0,04
Horizontale (Inclinaison $< 60^\circ$)	Ascendant		0,1	0,04
Horizontale (Inclinaison $< 60^\circ$)	Descendant		0,17	0,04

Question 1-1 :

Quelle est l'unité de la résistance thermique de conduction ?

Que représentent R_{si} et R_{se} ? Expliquer pourquoi R_{se} est systématiquement inférieure à R_{si} .

Question 1-2 :

Calculer le coefficient de transmission thermique surfacique du mur vertical donnant sur l'extérieur décrit ci-dessous.

En déduire la densité de flux φ (en W/m^2) traversant cette paroi pour une température extérieure $T_{ext} = -5^\circ C$.

Déterminer la température dans la paroi, à l'interface isolant / béton.

Nature	Epaisseur e m	Conductivité Thermique λ $W/(m.K)$	Perméabilité π $kg/(s.m.Pa)$
Plâtre	0,013	0,25	$2,3 \cdot 10^{-11}$
Isolant	0,16	0,036	$1,5 \cdot 10^{-10}$
Béton	0,2	0,8	$1,6 \cdot 10^{-12}$
Enduit	0,02	1	$2,7 \cdot 10^{-11}$

Transfert de vapeur dans la paroi

Risque de condensation :

La paroi ci-dessus sépare deux ambiances dont les conditions de température et d'humidité sont différentes. Lorsque les conditions sont réunies, il y a un risque de condensation de la vapeur d'eau contenue dans l'air, et ce, à l'intérieur des parois ou sur leurs parements.

L'air humide est constitué d'air sec et de vapeur d'eau. La pression P [Pa] dans l'air est due :

- d'une part à la pression de l'air sec (pression partielle de l'air sec : P_{AS})
- d'autre part à la pression de la vapeur d'eau (pression partielle de la vapeur d'eau : P_V)

On a : $P_{atm} = P_{AS} + P_V$

Il y a condensation de la vapeur d'eau lorsque P_V atteint une valeur limite appelée pression de vapeur saturante et notée P_{Vs} : la pression de vapeur saturante P_{Vs} dépend de la température de l'air et décroît avec la température suivant les relations suivantes :

- $P_{Vs} = 10^{2,7877 + \frac{T}{31,607 + 0,1311T}}$ si $T \geq 0^\circ\text{C}$
- $P_{Vs} = 10^{2,7877 + \frac{T}{27,952 + 0,1025T}}$ si $T \leq 0^\circ\text{C}$

$P_V < P_{Vs} \rightarrow$ pas de condensation
$P_V > P_{Vs} \rightarrow$ condensation

La pression partielle de vapeur ambiante P_V se déduit de l'humidité relative HR mesurée par un thermo-hygromètre et de P_{Vs} car HR peut être définie par : $HR[\%] = \frac{P_V}{P_{Vs}} \cdot 100$

La vapeur se meut à travers une paroi séparant deux ambiances selon la différence de pression de vapeur entre celles-ci et de la **perméabilité** des matériaux qui la composent (π). Plus π est important, plus le matériau est perméable à la vapeur. Le débit de vapeur surfacique q_{ms} à travers la paroi s'écrit :

$$q_{ms} = \frac{\Delta P_V}{R_{vapeur}} \quad \text{avec } R_{vapeur} = \sum \frac{e}{\pi} \quad (\text{loi de Fick})$$

L'analogie avec la loi de Fourier ($\varphi = \frac{\Delta T_s}{R_{thermique}}$ avec $R_{thermique} = \sum \frac{e}{\lambda}$) est évidente.

Question 1-3 :

Quelle est l'unité de la résistance à la vapeur ?

Calculer la résistance à la vapeur R_V de la paroi.

On considère les conditions de température et d'humidité intérieures et extérieures suivantes :

$$\begin{array}{ll} T_i = 20^\circ\text{C} & HR_i = 50\% \\ T_e = -5^\circ\text{C} & HR_e = 65\% \end{array}$$

Question 1-4 :

Quelle est l'unité du débit de vapeur surfacique ?

Calculer les pressions de vapeur P_{Vi} et P_{Ve} , en déduire le débit de vapeur surfacique.

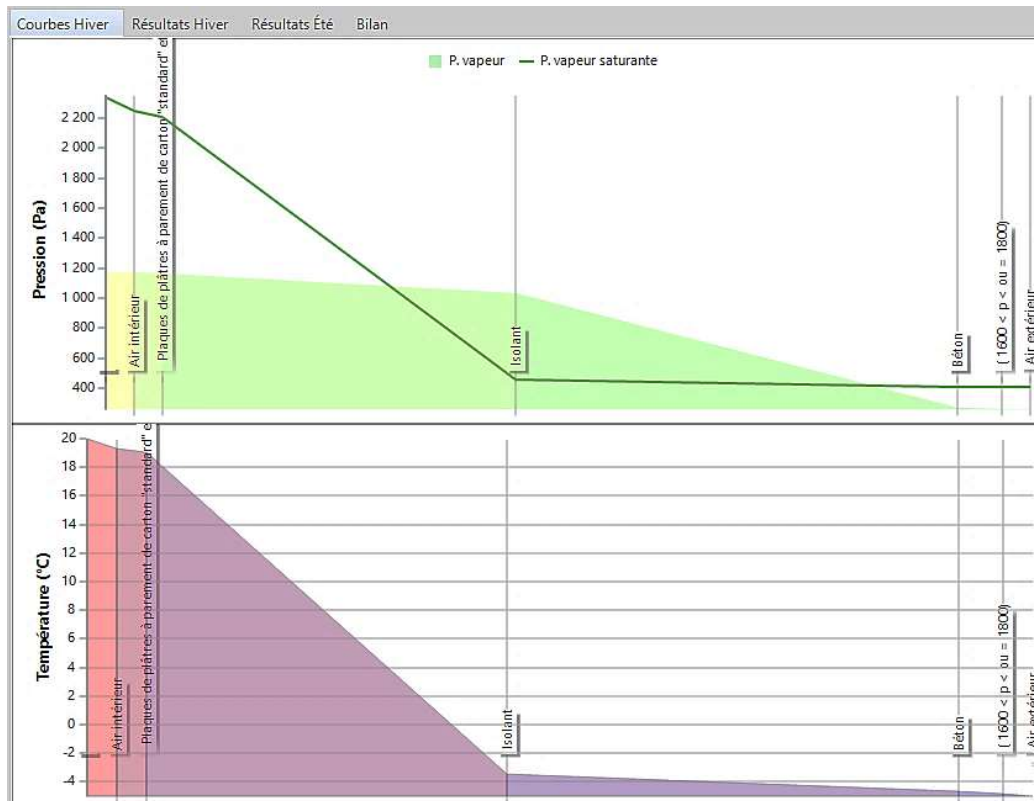
Question 1-5 :

Déterminer la pression de vapeur à l'interface isolant / béton.

Connaissant la température à l'interface, calculer la pression de vapeur saturante à l'interface isolant / béton.

Conclure quant au risque de condensation.

Le diagramme de Glaser permet d'estimer graphiquement le risque de condensation en comparant la pression de vapeur saturante et la pression partielle de vapeur à l'interface des composants qui constituent une paroi.



Question 1-6 :

D'après le diagramme de Glaser ci-dessus, quel matériau crée la résistance à la vapeur la plus importante ?

Y a-t-il des risques de condensation dans la paroi ?

Le cas échéant, quelles solutions permettraient de limiter ou supprimer le risque ?

Etude Thermique Réglementaire

Le Récapitulatif Standardisé Energie Environnement est la synthèse des résultats de l'étude thermique, c'est un document indispensable à l'obtention du permis de construire. L'objectif des questions suivantes est d'analyser certains points particuliers issus de ce document.

Apports solaires et lumineux

Le *Bbio* (Besoin bioclimatique conventionnel en énergie) est un des indicateurs sur lesquels s'appuie la réglementation thermique. Il est représentatif de l'efficacité énergétique du bâti.

Il est caractérisé par la valorisation des éléments suivants :

- La conception architecturale du bâti (implantation, forme, aires et orientation des baies, accès à l'éclairage naturel des locaux, masques proches, ...)
- Les caractéristiques de l'enveloppe en termes d'isolation, de transmission solaire, de transmission lumineuse, d'ouverture des baies et d'étanchéité à l'air,
- Les caractéristiques d'inertie du bâti.

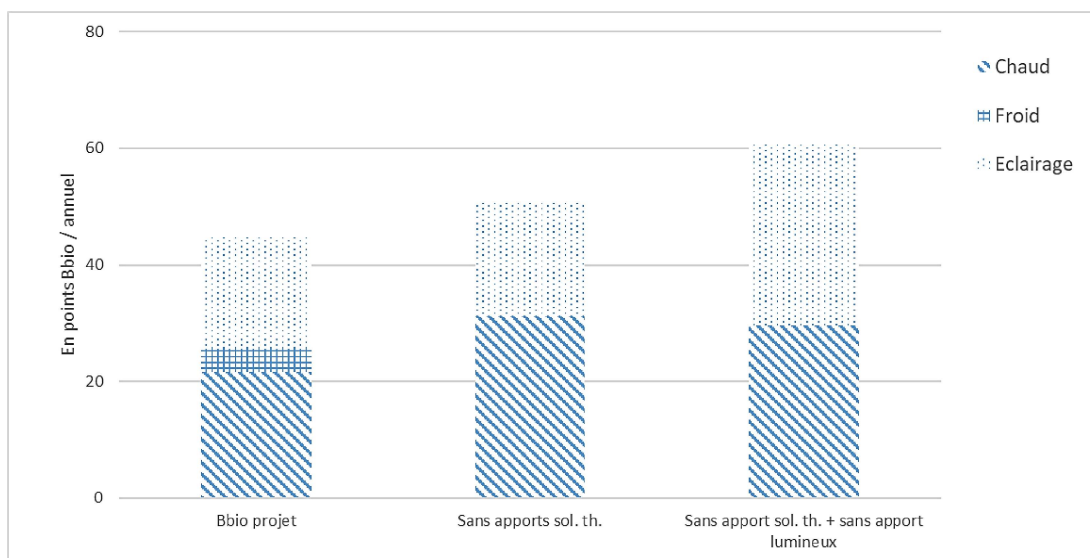
Le *Bbio* du bâtiment dépend directement des besoins en chauffage, en climatisation et en éclairage par la relation suivante :

$$Bbio = 2 \cdot B_{chauffage} + 2 \cdot B_{refroidissement} + 5 \cdot B_{éclairage}$$

Tout bâtiment doit avoir un besoin conventionnel en énergie inférieur à un besoin maximal appelé $Bbio_{max}$: $Bbio \leq Bbio_{max}$

L'illustrations ci-dessous représentent l'influence des apports solaires thermiques et des apports lumineux sur le *Bbio* du bâtiment.

Impact des apports solaires et lumineux sur le besoin bioclimatique *Bbio* du bâtiment (maison du campus)



Bbio projet : représente le besoin bioclimatique réglementaire de votre projet

Sans apports thermiques : représente le besoin bioclimatique sans prise en compte des apports solaires thermiques des baies (facteurs solaires Sw des baies = 0)

Sans apports thermiques et lumineux : représente le besoin bioclimatique sans prise en compte des apports solaires thermiques et lumineux des baies (facteurs solaires Sw_{sp} et Sw_{ap} des baies égal à 0, Transmission lumineuses $Tli = 0$).

Question 1-7 :

Pourquoi les besoins en éclairage sont affectés d'un coefficient 5 alors que le chauffage et le refroidissement d'un coefficient 2 ?

Question 1-8 :

Quels sont les éléments qui ont une influence sur l'accès à l'éclairage naturel dans un bâtiment ?

Quelle est la différence entre les apports solaires thermiques et les apports lumineux ?

Expliquer l'évolution des 3 parties du *Bbio* sur les 3 histogrammes ci-dessus ?

Confort d'été

L'indicateur *DH* (Degrés-Heures) représente, sur une année, la somme du nombre d'heures perçues comme inconfortables par les occupants, chacune de ces heures étant pondérée par l'écart en °C entre la température calculée et la limite de confort.

Dit autrement, il s'agit de la somme de l'écart entre la température de l'habitation et la température de confort. Le *DH* se calcule uniquement pendant la période d'occupation du bâtiment.

Si le *DH* ne dépasse pas 350 °C.h, le logement est jugé confortable l'été sans nécessité d'installer un système de refroidissement complémentaire. En revanche, au-delà de 350 °C.h, le degré d'inconfort est automatiquement transformé en besoin de rafraîchissement et donc en consommation d'énergie.

Là où la RT2012 ne comptabilisait l'énergie dépensée que si une climatisation était déclarée, la RE2020 calcule automatiquement une consommation « fictive » qui correspond au besoin de refroidissement auquel les occupants auront à faire face s'ils décident effectivement de climatiser. Bien qu'hypothétique, cette consommation est systématiquement ajoutée à la consommation totale. Pour qu'un logement (climatisé ou pas) soit conforme à la réglementation, la valeur de son *DH* ne doit pas dépasser 1250 °C.h, quelle que soit la région. Ce plafond est toutefois modulable à la hausse en fonction de certaines contraintes, par exemple l'impossibilité d'ouvrir les fenêtres la nuit en zone de bruit.

Les périodes d'ouverture de la Maison du Campus, sont prévues du lundi au vendredi de 8h00 à 20h00.

Question 1-9 :

Calculer le *DH* pour la journée d'été type décrite ci-après.

Combien faudrait-il de journées strictement identiques pour que le bâtiment ne soit pas conforme suivant le critère des *DH* ?

Question 1-10 :

Quelles solutions peuvent être mises en place pour diminuer l'inconfort d'été ?

Créneau	Température du bâtiment (°C)	Température limite de confort (°C)
0 - 1 h	22,9	26
1 - 2 h	22,5	26
2 - 3 h	22,1	26
3 - 4 h	22,7	26
4 - 5 h	23	26
5 - 6 h	22,7	26
6 - 7 h	22,9	27
7 - 8 h	23,3	27
8 - 9 h	23,7	27
9 - 10 h	24,2	27
10 - 11 h	24,9	27
11 - 12 h	25,8	27
12 - 13 h	26,7	27
13 - 14 h	26,9	27
14 - 15 h	27,4	27
15 - 16 h	28	27
16 - 17 h	29	27
17 - 18 h	29,3	27
18 - 19 h	29,5	27
19 - 20 h	29,3	27
20 - 21 h	29	27
21 - 22 h	28,9	27
22 - 23 h	29	26
23 - 24 h	28,6	26

PARTIE 2 – Ventilation

Ventilation

On s'intéressera dans cette partie à la ventilation de la zone bibliothèque. Les débits nominaux de ventilation sont imposés par l'usage du bâtiment et son occupation. Pour la zone bibliothèque le nombre d'occupants peut être déterminé par le nombre de places assises du local (voir *Annexe 8*).

Vous trouverez des extraits du CCTP relatif à la ventilation en *Annexe 1*.

Question 2-1 :

Pourquoi est-il obligatoire de ventiler un bâtiment ?

Expliquer en quoi la ventilation joue un rôle dans le comportement thermique du bâtiment ?

Dans la zone bibliothèque, le débit dans la Salle de Formation est régulé par rapport au taux de CO_2 . La consigne est fixée à 1200 ppm de CO_2 et la bande proportionnelle autour de cette valeur est de 500 ppm.

Question 2-2 :

Pourquoi le débit dans la salle de formation est-il régulé en fonction du taux de CO_2 alors que c'est par détection de présence pour les bureaux par exemple ?

Tracer la commande d'ouverture du registre en fonction du taux de CO_2 relevé par la sonde.

Les ventilateurs à vitesse variable sont commandés par une sonde de pression statique permettant de maintenir la pression constante dans la gaine de soufflage en un point du réseau.

Le régulateur des variateurs de vitesse peut fonctionner en mode Tout Ou Rien (TOR), Proportionnel (P) ou PI (Proportionnel Intégral).

Question 2-3 :

Quel(s) mode(s) choisir pour maintenir la pression statique constante en permanence ? Justifier votre réponse.

Question 2-4 :

Déterminer le diamètre des gaines sur les tronçons terminaux de la salle multimédia parmi les diamètres normalisés ci-dessous.

Série des diamètres intérieurs (mm)						
63	80	100	125	160	200	250
315	400	500	630	800	1 000	1 250

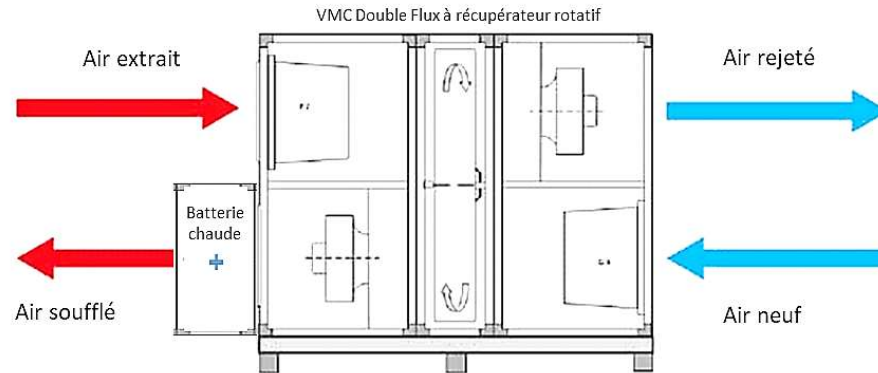
Question 2-5 :

A partir des contraintes (débit, niveau acoustique, portée, ...) faire la sélection les bouches de soufflage et reprise de la salle de multimédia dans le catalogue en *Annexe 2*.

Question 2-6 :

Qu'est-ce que la notion de foisonnement dans le cadre du dimensionnement de réseau de ventilation ?

Dans le cas de la zone bibliothèque, le foisonnement s'appliquera-t-il ? Justifiez votre réponse.

Récupération de chaleur / Batterie chaude

La VMC double flux prévue pour un débit nominal de $Q_v = 1800 \text{ m}^3/\text{h}$. Elle est équipée d'un récupérateur de chaleur rotatif dont l'efficacité est $\varepsilon = 82 \%$.

A la sortie du caisson de ventilation une batterie chaude à eau permet de souffler de l'air à température ambiante (T_{int}).

La batterie est alimentée en eau chaude dont le régime de température est 50/45 °C.

On considère les conditions de température et d'humidité intérieures et extérieures suivantes :

$$\begin{aligned} T_{int} &= 20 \text{ }^\circ\text{C} & HR_{int} &= 50 \% \\ T_{ext} &= -5 \text{ }^\circ\text{C} & HR_{ext} &= 65 \% \end{aligned}$$

Question 2-7 :

Quelle sera la température de l'air après passage dans le récupérateur de chaleur (avant la batterie chaude) ?

A partir du diagramme de l'air humide (*Annexe 3*), déterminer son humidité relative.

Quelle est la puissance récupérée ?

Question 2-8 :

Quelles seront les conditions de température et d'humidité de l'air rejeté ?

Vous illustrerez votre démarche par une représentation graphique simplifiée du diagramme de l'air humide.

Faudra-t-il prévoir une protection anti-gel ? Si oui, en quoi celle-ci consiste-t-elle ?

Question 2-9 :

Déterminer la puissance de la batterie chaude. Quelle est son efficacité ?

Quel débit d'eau chaude circule dans cet échangeur ?

A l'aide de l'Annexe 9, expliquer comment fonctionne la régulation de cette batterie chaude.

PARTIE 3 – Réseau de chauffage

Description du réseau

La Maison du Campus est intégralement chauffée par plancher chauffant basse température (PCBT). 46 circuits reliés à 13 collecteurs répartis en 2 zones composent ce réseau de PCBT (voir Annexe 9).

L'air soufflé dans le bâtiment est préchauffé jusqu'à la température ambiante à l'aide de batteries chaudes situées en aval des 4 centrales de traitement d'air (CTA).

La production de chaleur est assurée par 2 pompes à chaleur Weishaupt dont le fonctionnement sera étudié plus en détail dans la partie suivante.

Dans les conditions nominales, les régimes de température sont les suivantes :

- Primaire - PAC : 50/40
- Batteries chaude - CTA : 50/45
- Planchers Chauffants : 40/30

Aucun bipasse fixe n'est prévu sur les départs Planchers Chauffant compte tenu du faible écart de températures nominales entre Primaire et Planchers Chauffants : les V3V gèreront.

Débit et température dans le réseau

Sur le document réponse *DR1 : Schéma de principe simplifié*, le schéma reprend la forme générale du réseau, ainsi que les puissances nécessaires pour alimenter les émetteurs.

Question 3-1 :

Compléter le document réponse (*DR1 : Schéma de principe simplifié*) avec les valeurs des débits (en L/h), le sens de circulation du fluide (par des flèches) et les températures en chacun des tronçons du réseau.

Vous détaillerez votre démarche sur votre copie pour :

- Les vannes 3 voies
- Le collecteur de retour
- L'intérieur du ballon tampon

Dimensionnement du vase d'expansion

Le vase d'expansion sert à absorber la variation de volume due à la dilatation thermique de l'eau du réseau. Il permet ainsi de limiter les variations de pression du réseau.

Ci-dessous le volume d'eau contenu dans les différentes parties du réseau de chauffage :

- Volume d'eau primaire : 50 L
- Volume ballon de stockage : 500 L
- Volume réseau CTA : 200 L
- Volume réseau PCBT : 1100 L

Vous utiliserez la démarche de dimensionnement des vases d'expansion décrite en *Annexe 6*.

On considère généralement la température minimale comme la température de remplissage, ici $T_{min} = 10^{\circ}C$. La température maximale correspond à la température moyenne du réseau dans les conditions nominales de fonctionnement.

Question 3-2 :

A partir des régimes de température et des volumes indiqués ci-dessus, déterminer la température moyenne de l'eau du réseau dans les conditions nominales.

Pour la suite du dimensionnement du vase d'expansion on prendra $T_{max} = 45^{\circ}C$.

Question 3-3 :

En considérant l'azote comme un gaz parfait, montrer que : $Vb = Vu \cdot \frac{Pf}{Pf - Pg}$

Dans la relation précédente, Pg et Pf sont-elles des pressions relatives ou absolues ?

Comment passer d'une pression relative à une pression absolue ?

Vous détaillerez le dimensionnement et la sélection du vase d'expansion, voir le catalogue disponible en *Annexe 7*.

Régulation PCBT

La consigne de la température de départ du circuit alimentant les planchers chauffants, T_c , suit une loi d'eau, c'est-à-dire qu'elle dépend de la température extérieure T_{ext} . La régulation de la température de départ est assurée par une vanne 3 voies (V3V).

On s'intéresse plus particulièrement à la zone **Learning Café / Administration / Salle de travail**

Le réglage de base du régulateur de la V3V est le suivant : $T_c = 20^{\circ}C$ pour $T_{ext} = 20^{\circ}C$.

Lors de la mise en service les réglages suivants ont été préconisés :

- Déplacement parallèle de $-5^{\circ}C$
- Pente de 1,0

Question 3-4 :

La V3V régulant la température de départ est-elle montée en mélange ou en répartition ?

Quels sont les avantages d'utiliser une loi d'eau ?

Tracer graph représentant la loi d'eau de la V3V. Quelle est la température de consigne pour $T_{ext} = -5^{\circ}C$?

Les usagers du bâtiment se sont plaints de température ambiante trop faible à mi-saison. Il a été décidé de relever la température de consigne à $T_c = 24^{\circ}C$ pour $T_{ext} = 15^{\circ}C$ tout en maintenant la même consigne pour $T_{ext} = -5^{\circ}C$.

Question 3-5 :

Déterminer les nouveaux paramètres, déplacement parallèle et pente, pour obtenir cette loi d'eau.

La V3V installée a la référence suivante : BKR020F310-FF.
Elle a été choisie de manière à obtenir une autorité $\alpha = 0,5$.

Type	Diamètre nominal	Raccord ISO 7/1 Rp	Valeur k_{VS} de la voie de régulation	Poids
BKR015F340-FF	DN 15	Rp1/2"	1,6 m³/h	0,31 kg
BKR015F330-FF	DN 15	Rp1/2"	2,5 m³/h	0,31 kg
BKR015F320-FF	DN 15	Rp1/2"	4 m³/h	0,31 kg
BKR015F310-FF	DN 15	Rp1/2"	6,3 m³/h	0,33 kg
BKR020F320-FF	DN 20	Rp3/4"	4 m³/h	0,4 kg
BKR020F310-FF	DN 20	Rp3/4"	6,3 m³/h	0,4 kg
BKR025F310-FF	DN 25	Rp1"	10 m³/h	0,63 kg
BKR032F310-FF	DN 32	Rp 1/4"	16 m³/h	0,97 kg
BKR040F310-FF	DN 40	Rp1 1/2"	25 m³/h	1,4 kg
BKR050F310-FF	DN 50	Rp2"	40 m³/h	2,67 kg

Question 3-6 :

Le débit délivré par la V3V est de $Q_v = 3200 \text{ L/h}$, quelle perte de charge crée-t-elle lorsqu'elle est ouverte à 100 % ?

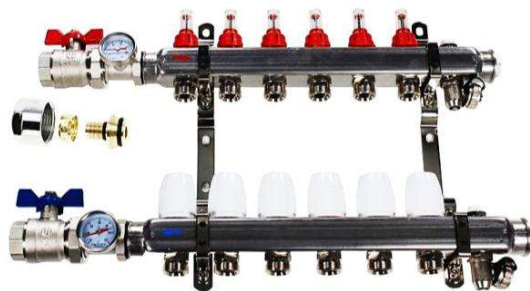
Expliquer comment est calculée l'autorité d'une V3V.

Quels sont les inconvénients d'avoir une autorité trop petite ? trop grande ?

Que peut-on en conclure sur les pertes de charge du réseau ?

Régulation terminale

La régulation terminale est assurée par des électrovannes placées sur le collecteur retour du plancher chauffant. L'ouverture des électrovannes est commandée par un régulateur à partir d'une sonde de température placée dans la zone à chauffée.



Question 3-7 :

Pourquoi, dans le cas d'un plancher chauffant, il n'est pas conseillé de réguler l'ouverture l'électrovanne en tout ou rien ?

Régulation de débit du circulateur

Le circulateur alimentant les PCBT a été dimensionné de manière à pouvoir fournir le débit la hauteur manométrique suivants :

$$Qv = 3,2 \text{ m}^3/h \qquad Hmt = 6,5 \text{ m}_{CE}.$$

Le circulateur est équipé d'un variateur de vitesse fonctionnant à ΔP variable dont les courbes caractéristiques sont données en *Annexe 4*.

Question 3-8 :

Relever la hauteur manométrique et la puissance absorbée, en déduire la puissance hydraulique et le rendement dans les 2 cas suivants :

- **Au régime nominal**
- **Pour un débit réduit de moitié du fait des régulations terminales**

Vous illustrerez votre démarche par une représentation graphique simplifiée des courbes de fonctionnement.

PARTIE 4 – Pompe à Chaleur

Pompe à chaleur Air / Eau de la marque Weishaupt

Référence WWP LA 60-A R

2 pompes à chaleur (PAC) air/eau sont prévues pour le réchauffement de l'eau de chauffage.

Elles conviennent pour un fonctionnement jusqu'à des températures extérieures de $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Chaque PAC est composée de 2 compresseurs, suivant les besoins, 1 seul fonctionnera ou bien les 2 fonctionneront simultanément.

Les besoins totaux sont de 70 kW pour une température extérieure de $T_{ext} = -5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Les PAC produiront alors de l'eau à $50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Le circuit frigorifique est « hermétiquement fermé » et contient le fluide frigorigène fluoré R407C.

Les courbes caractéristiques en mode chauffage sont disponibles en *Annexe 5*.



Question 4-1 :

Dans les conditions de dimensionnement de la PAC, retrouver sur les courbes caractéristiques en annexe :

- La puissance de chauffage,
- La puissance absorbée,
- Le coefficient de performance (COP).

La consigne de chauffage est fixée à $T_{int} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$. On considère que les besoins de chauffage sont proportionnels à l'écart de température entre l'intérieur et l'extérieur.

Question 4-2 :

A partir de quelle température extérieure et pour quelle puissance, un seul des 2 compresseurs (sur chaque PAC) sera suffisant pour assurer le chauffage du bâtiment ?

Vous illustrerez votre réponse par un graphique représentant les besoins et la puissance fournie par les PAC en fonction de la température extérieure.

Le R407C est un fluide non azéotrope (il est composé de plusieurs fluides), voici sa composition :

R134a : 52 % R125 : 25 % R32 : 23 %

Le glissement de température est une spécificité des fluides zéotrope, les différents fluides composant le mélange changent d'état à des températures différentes d'où une dérive de la température au niveau de l'évaporateur et du condenseur.

Ci-dessous les relevés effectués aux conditions nominales de fonctionnement :

- BP : 1,7 bar (relatif)
- HP : 24,0 bar (relatif)
- T aspiration compresseur : -8°C
- T refoulement compresseur : 95°C
- T sortie condenseur : 50°C

Les pertes de charge seront négligées.

Question 4-3 :

Tracer le cycle sur le document réponse *DR2 : Diagramme enthalpique R407C*.

Question 4-4 :

Etant donnée la puissance de chauffage de la PAC, en déduire le débit massique de fluide.

Quel est le débit volumique de fluide à l'aspiration de chaque compresseur ?

Question 4-5 :

Quel est le COP de ce cycle ?

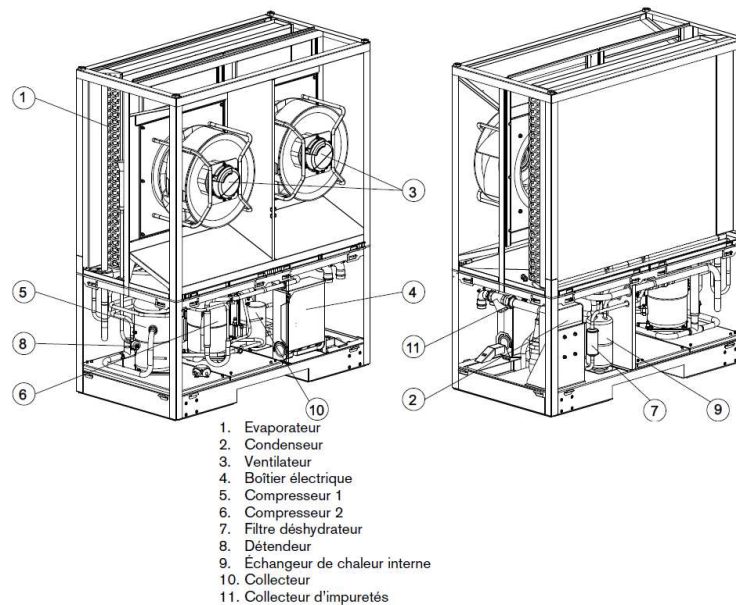
Comparer à la valeur annoncée par le fabricant.

Comment expliquer les éventuelles différences ?

Question 4-6 :

Représenter sur un même graphique, les évolutions de température des 2 fluides dans le condenseur supposé fonctionner en contre-courant.

Quelle est la température moyenne de condensation du R407C ?



ANNEXES

Annexe 1. Extraits CCTP - Ventilation

Généralités :

Le bâtiment étudié est équipé de 4 systèmes de VCM double flux avec récupération de chaleur sur l'air extrait. Une batterie chaude placée en aval de la VMC sur l'air soufflé permet de maintenir une température de soufflage égale à la température intérieure ($T_s = T_i = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$)

Débit de renouvellement d'air à assurer :

Locaux	Débites (m3/h)
WC	30
WC PMR avec lave-mains d'angle	45
(N+1) x Sanitaires	30 + Nx15
Locaux classique	18 par occupant

Vitesse dans réseaux d'extraction

Localisation	Vitesse maxi (m/s)
Gaine technique	4
Plénum	3,5
Toiture terrasse	4

Vitesse dans réseaux de soufflage

Localisation	Vitesse maxi (m/s)
Gaine technique	4
Plénum	2,5
Toiture terrasse	4

Modulation de ventilation

Les grandes pièces à vivre seront équipées de ventilation modulée soit par détection de présence soit par détection de CO₂.

Un modulation par détection de présence comprendra la fourniture et mise en œuvre de :

- Registres proportionnels avec servomoteur sur le réseau de soufflage et celui de reprise
- Détecteur de présence

Un modulation par détection CO₂ comprendra la fourniture et mise en œuvre de :

- Registres proportionnels avec servomoteur sur le réseau de soufflage et celui de reprise
- Sonde murale DCO2 24V
- Carte électronique CAJ pour communication entre sonde et servomoteur

Bouches de soufflage

La reprise et le soufflage dans les grands locaux s'effectueront par des diffuseurs plafonniers 600x600 à piquage arrière avec module de réglage.

Certaines bouches d'extraction seront auto-réglables avec manchette à pattes de fixations.

Certaines bouches d'extraction et de soufflage seront auto-réglables avec régulateur à débit constant. L'ensemble de l'installation sera livré y compris mise en service, réglage, équilibrage des réseaux, raccords, fixations anti-vibratiles, câblage de tous les organes et accessoires.

Acoustique

L'étude acoustique fait des préconisations sur les caractéristiques des bouches. Les bouches de soufflage et de reprise seront sélectionnées de manière à avoir un niveau de puissance acoustique du bruit régénéré inférieur aux valeurs suivantes :

- Courbe de référence NR23 dans la salle de lecture,
- Courbe de référence NR28 dans les bureaux, l'accueil, les salles de travail, la salle de formation, la salle multimédia, les locaux archives et traitement de document,
- Courbe de référence NR33 dans le hall, le learning café et les dégagements.

Diffuseurs carrés multi-fentes

Série ALD 610 K

SÉLECTION - SOUFFLAGE AVEC EFFET DE PLAFOND

Ak (m²)	Dimensions	qv (m³/h)												Lw	Lt										
		150		200		250		300		400		500				600		800		1000		1200		1400	
0,016	600-1 fente	18	2,3	25	2,7	30	3	33	3,4	39	4													Lw	Lt
		2,4	5	3,3	9	4	13	4,9	20	6,5	35													Vk	Pa
0,018	675-1 fente	16	2	23	2,6	28	2,9	32	3,3	38	3,9	43	4,6												
		2,3	4	2,9	7	3,8	12	4,5	17	6	30	7,5	46												
0,030	600-2 fentes					20	2,5	24	2,9	29	3,4	35	3,9	38	4,5	44	5,4								
						2,3	4	2,7	6	3,6	11	4,5	17	5,5	25	7,1	42								
0,034	675-2 fentes					18	2,6	22	2,8	27	3,3	33	3,8	36	4,2	42	5,2								
						2	3	2,4	5	3,2	8	4	13	4,9	19	6,5	35								
0,045	600-3 fentes									22	2,9	27	3,4	30	3,8	36	4,6	41	5,4	45	6,3				
										2,3	4	2,9	7	3,4	9	4,6	17	5,9	29	6,9	39				
0,051	675-3 fentes									20	2,8	25	3,3	28	3,7	35	4,4	39	5,2	43	6				
										2	3	2,6	5	3	7	4	13	5,1	22	6,2	33				
0,060	600-4 fentes									22	3,1	26	3,5	32	4,2	37	5	41	5,7	44	6,6				
										2,2	4	2,6	5	3,5	10	4,5	16	5,2	22	6,2	31				
0,068	675-4 fentes	Lw	Lt											23	3,4	29	4	35	4,7	38	5,4	42	6,2		
		Vk	Pa											2,4	4	3	7	3,9	12	4,6	17	5,5	25		

Les valeurs Lw (NR) ne tiennent pas compte de l'atténuation du local. Vt = 0,37 m/s. Tests réalisés avec le plénum standard.

SÉLECTION - REPRISE SANS FILTRE

Ak (m²)	Dimensions	qv (m³/h)												Lw	Lt										
		150		200		250		300		400		500				600		800		1000		1200		1400	
0,012	600-1 fente	13	-	20	-	25	-	28	-	34	-													Lw	Lt
		3,1	8	4,3	15	5,2	22	6,4	50	8,5	59													Vk	Pa
0,014	675-1 fente	11	-	18	-	23	-	27	-	33	-														
		3,0	7	3,8	12	4,9	20	5,9	29	7,8	47														
0,023	600-2 fentes					15	-	19	-	24	-	30	-	33	-										
						3,0	7	3,5	10	4,7	17	5,9	29	7,2	43										
0,026	675-2 fentes					13	-	17	-	22	-	28	-	31	-	37	-								
						2,6	5	3,1	8	4,2	14	5,2	22	6,4	32	8,4	59								
0,035	600-3 fentes					17	-	22	-	25	-	31	-	36	-										
						3,0	7	3,8	12	4,4	15	6,0	29	7,7	49										
0,039	675-3 fentes					15	-	20	-	23	-	30	-	34	-	38	-								
						2,6	5	3,4	8	3,9	12	5,2	22	6,6	37	8,1	56								
0,046	600-4 fentes					17	-	21	-	27	-	32	-	36	-	39	-								
						2,9	7	3,4	8	4,6	17	5,9	27	6,8	37	8,1	53								
0,052	675-4 fentes	Lw	-											18	-	24	-	30	-	33	-	27	-		
		Vk	Pa											3,1	7	3,9	12	5,1	20	6,0	29	7,2	43		

Les valeurs Lw (NR) ne tiennent pas compte de l'atténuation du local. Tests réalisés avec le plénum standard.

SÉLECTION - REPRISE AVEC FILTRE G2

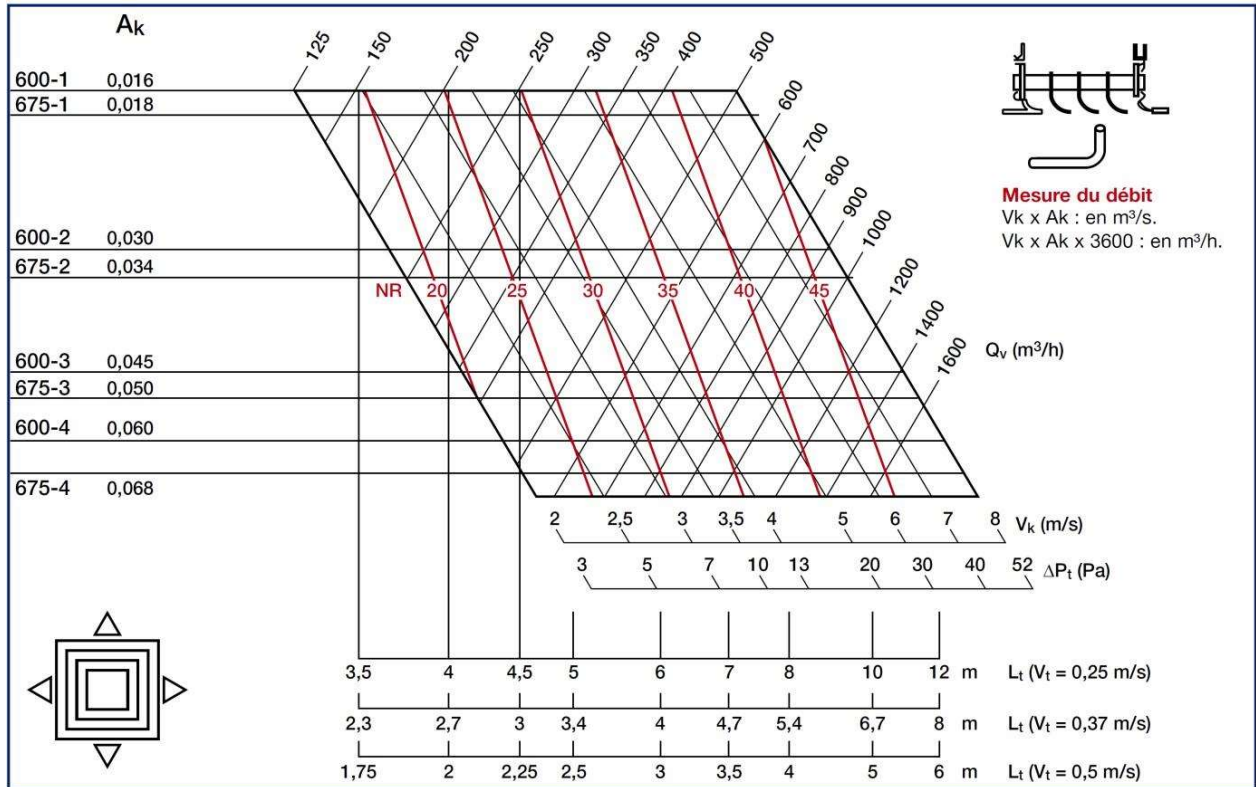
Ak (m²)	Dimensions	qv (m³/h)												Lw	Lt										
		150		200		250		300		400		500				600		800		1000		1200		1400	
0,012	600-1 fente	13	-	20	-	25	-	28	-	34	-													Lw	Lt
		3,1	8	4,3	15	5,2	23	6,4	52	8,5	63													Vk	Pa
0,014	675-1 fente	11	-	18	-	23	-	27	-	33	-														
		3,0	7	3,8	12	4,9	21	5,9	31	7,8	55														
0,023	600-2 fentes					15	-	19	-	24	-	30	-	33	-										
						3,0	8	3,5	12	4,7	23	5,9	34	7,2	50										
0,026	675-2 fentes					13	-	17	-	22	-	28	-	31	-	37	-								
						2,6	6	3,1	10	4,2	18	5,2	27	6,4	39	8,4									
0,035	600-3 fentes					17	-	22	-	25	-	31	-	36	-										
						3,0	11	3,8	17	4,4	22	6,0	40	7,7	68										
0,039	675-3 fentes					15	-	20	-	23	-	30	-	34	-	38	-								
						2,6	9	3,4	13	3,9	19	5,2	33	6,6	56	8,1									
0,046	600-4 fentes					17	-	21	-	27	-	32	-	36	-	39	-								
						2,9	12	3,4	15	4,6	28	5,9	46	6,8	62	8,1									
0,052	675-4 fentes	Lw	-											18	-	24	-	30	-	33	-	27	-		
		Vk	Pa											3,1	14	3,9	23	5,1	39	6,0	54	7,2	68		

Les valeurs Lw (NR) ne tiennent pas compte de l'atténuation du local. Tests réalisés avec le plénum standard.

ΔP > 70 Pa

Diffuseurs carrés multi-fentes

Série ALD 610 K - soufflage avec effet de plafond



Les valeurs L_w (NR) ne tiennent pas compte de l'atténuation du local. Tests réalisés avec le plénum standard.

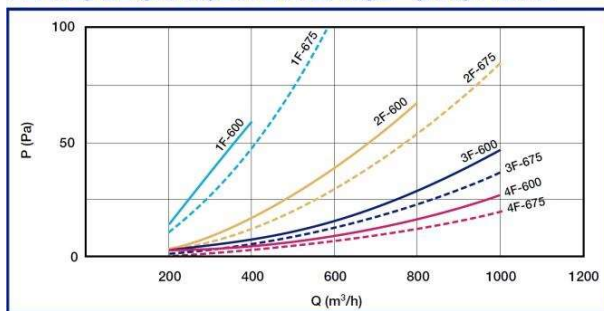
CORRECTIONS POUR D'AUTRES V_t

V _t (m/s)	0.25	0.375	0.5	0.625
L _t	x 1	x 0.67	x 0.5	x 0.4

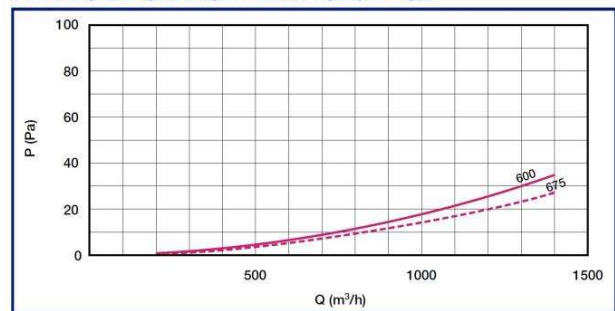
CORRECTIONS POUR REPRISE

L _w (NR)	- 5
---------------------	-----

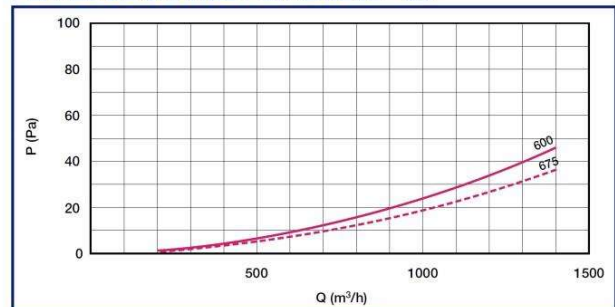
PERTES DE CHARGE À LA REPRISE - SANS FILTRE



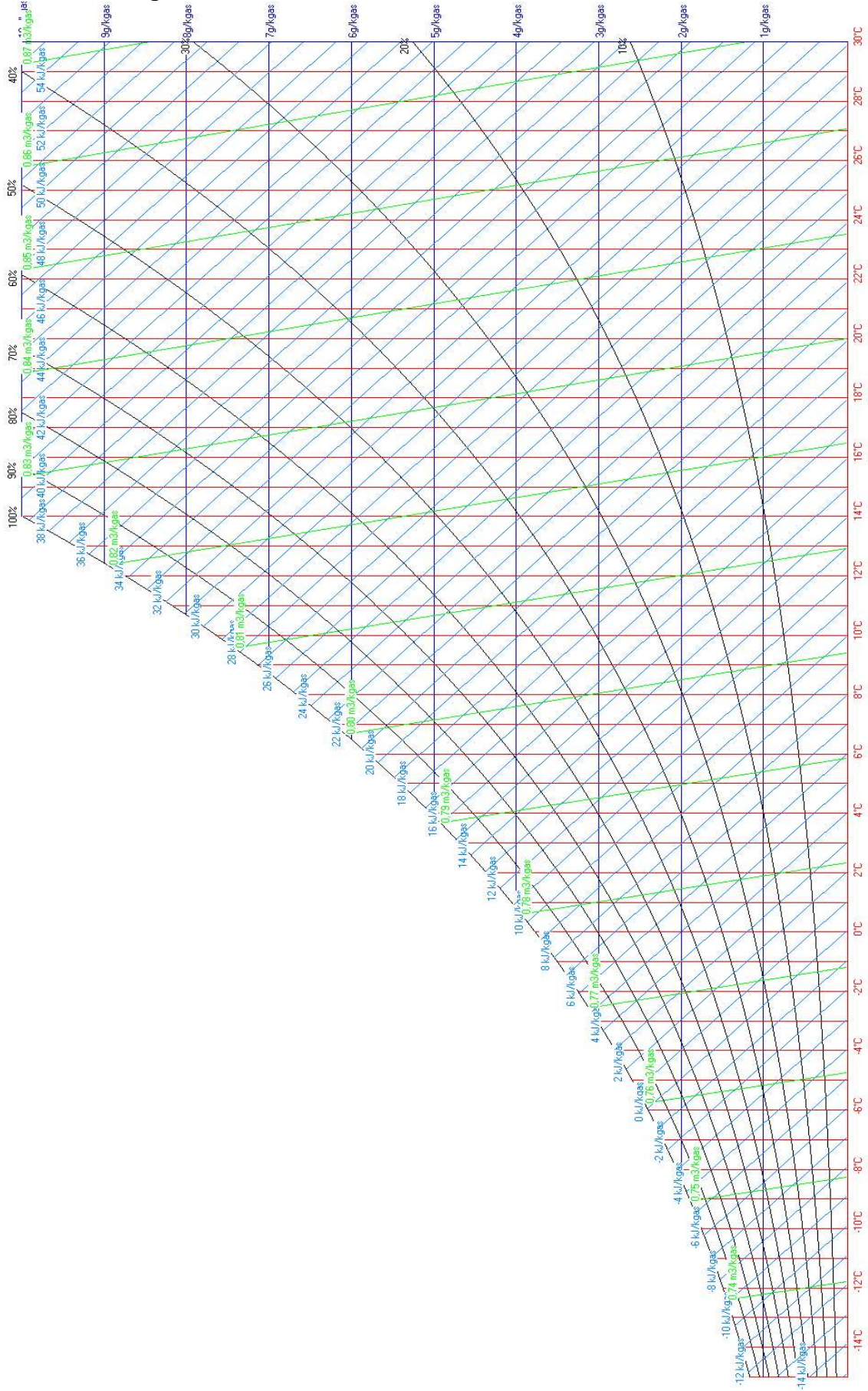
PERTES DE CHARGE FILTRE SEUL - G2



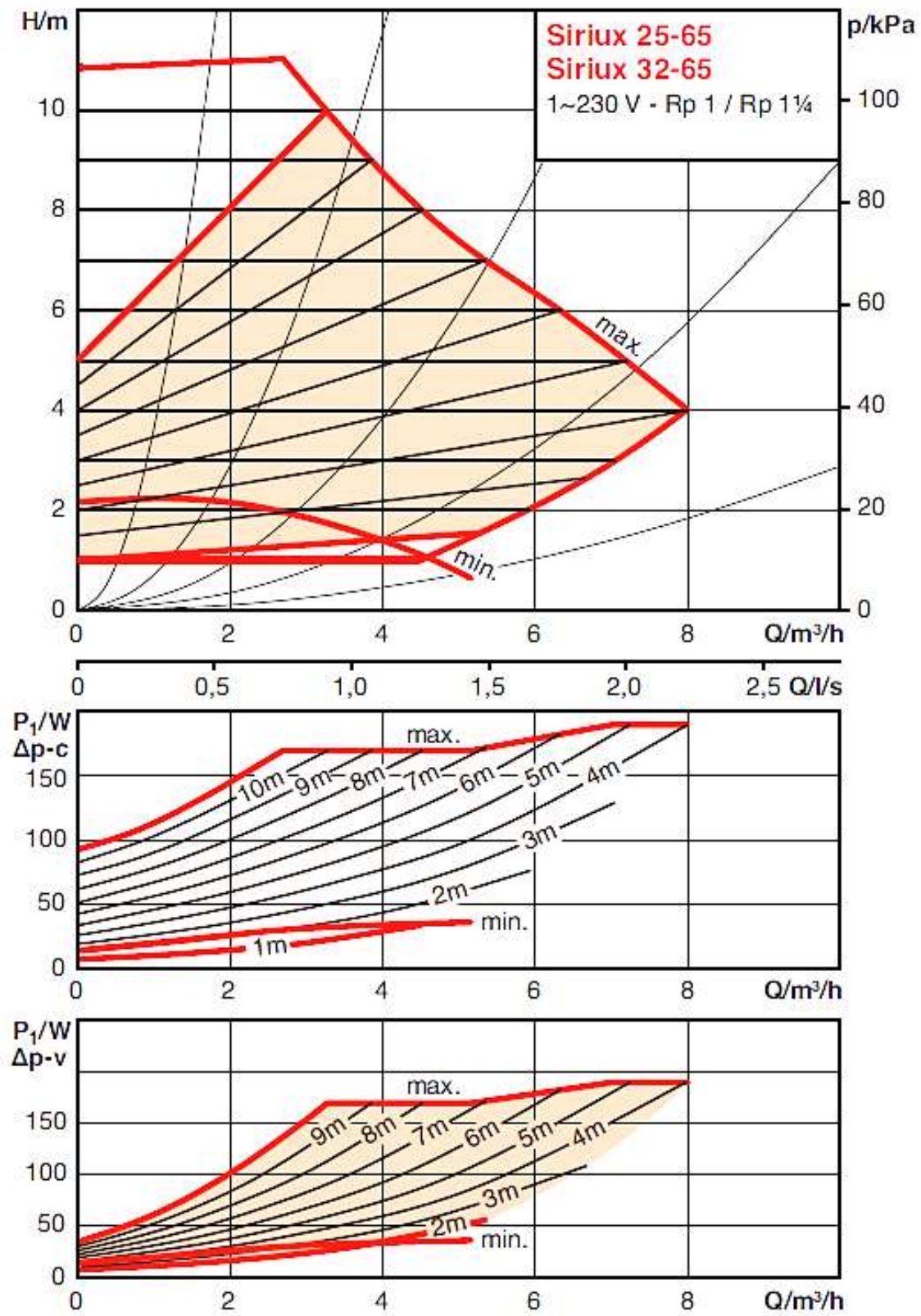
PERTES DE CHARGE FILTRE SEUL - G3



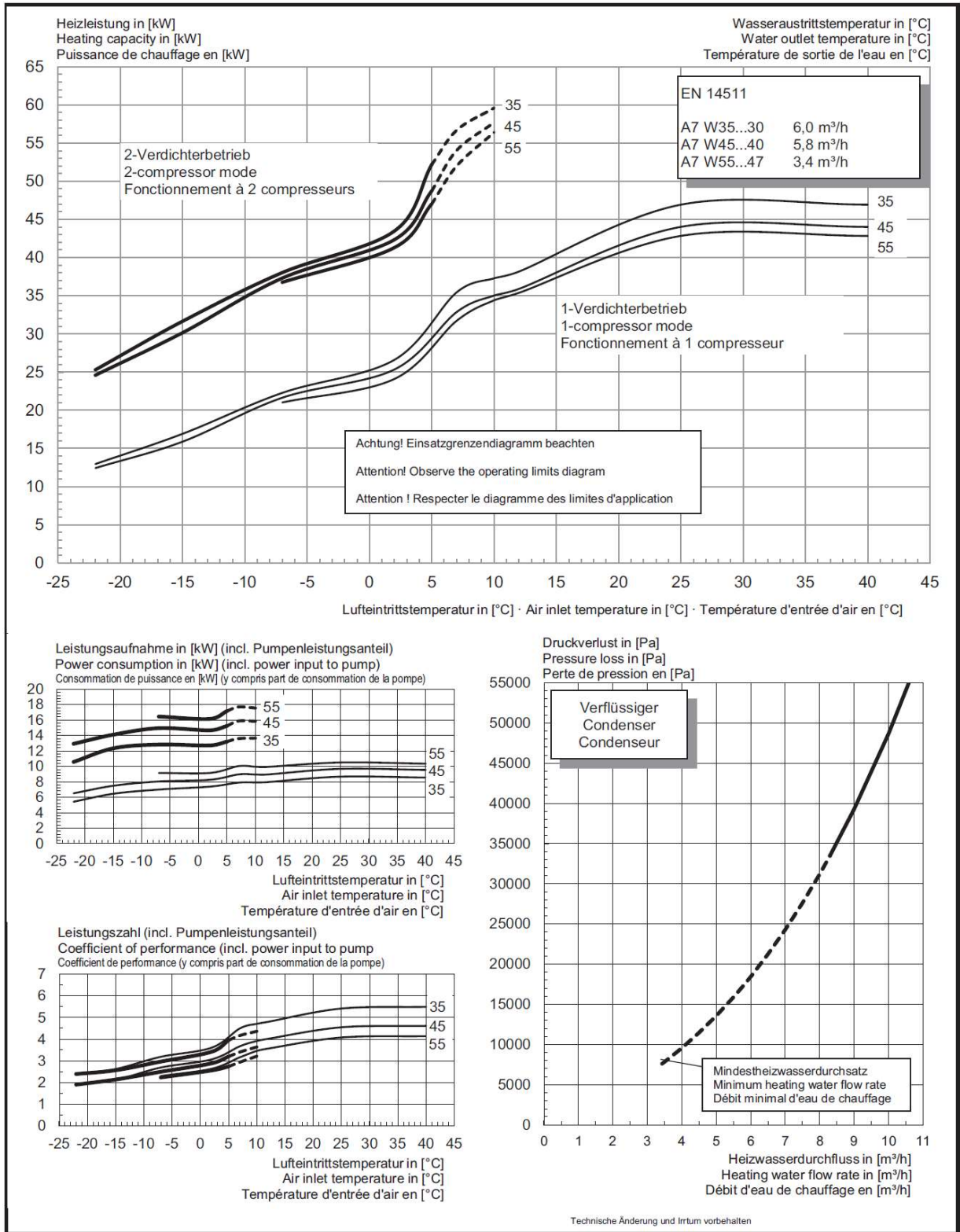
Annexe 3. Diagramme de l'Air Humide



Annexe 4. Courbe de fonctionnement du circulateur - Sirius 32-65



Annexe 5. Courbes caractéristiques de la PAC en mode chauffage



Annexe 6. Dimensionnement d'un vase d'expansion

Le volume d'expansion V_e dépend du volume d'eau contenu dans l'installation V_i et du coefficient d'expansion C_e . $V_e = V_i \cdot C_e$

Accroissement de température	Coefficient d'expansion
10 - 25 °C	0,35%
10 - 30 °C	0,43%
10 - 35 °C	0,63%
10 - 40 °C	0,75%
10 - 45 °C	0,96%
10 - 50 °C	1,18%
10 - 55 °C	1,42%
10 - 60 °C	1,68%
10 - 70 °C	2,25%
10 - 80 °C	2,89%
10 - 90 °C	3,58%
10 - 100 °C	4,34%
10 - 110 °C	5,16%

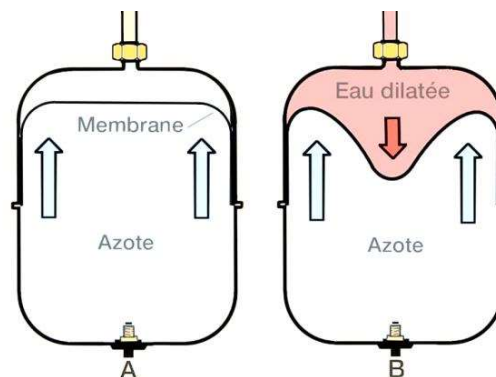
En pratique il faudra choisir un vase d'expansion capable d'absorber un volume utile $V_u > V_e$. Un facteur de sécurité de 25% est généralement pris en compte dans le dimensionnement :

$$V_u = 1,25 \cdot V_e$$

On considère en première approche que la vase d'expansion évolue entre les 2 états A et B :

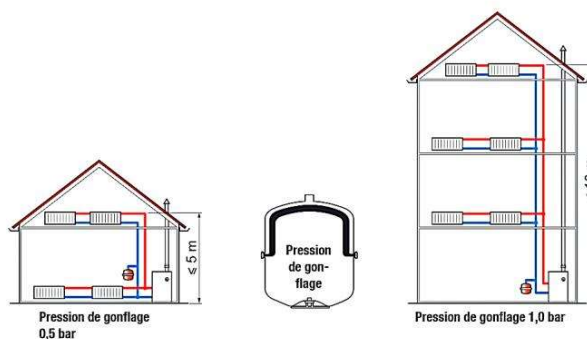
- Dans l'état initial A, tout le volume V_b du vase est rempli d'azote à la pression de gonflage P_g .
- Dans son état final B, le vase s'est rempli du volume utile d'eau V_u sur la partie supérieure et l'azote occupe alors le reste du volume sur la partie inférieure, le tout à une pression finale P_f .

Dans les 2 états, la masse d'azote est la même.





La pression de gonflage P_g est la pression régnant dans le vase d'expansion qui ne contient pas encore d'eau, par exemple, avant qu'il ne soit raccordé à l'installation. *Attention, ci-dessous ce sont les pressions relatives qui sont indiquées...*


La pression finale P_f est souvent prise égale à la pression de tarage des soupapes de sécurité P_s . Ici les soupapes sont réglées à une pression $P_s = 3 \text{ bar}$. *Attention, il s'agit là aussi de pression relative.*



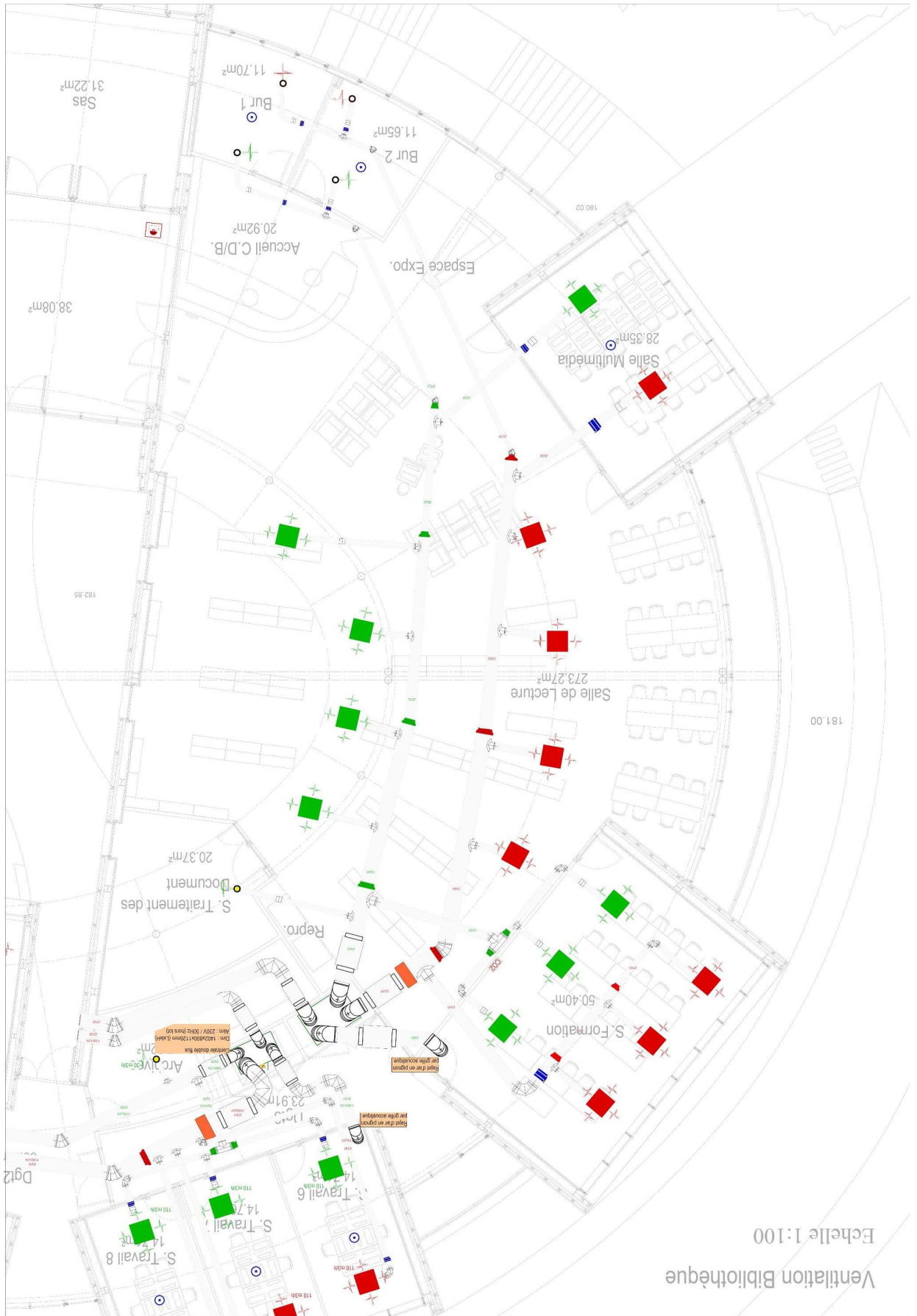
Annexe 7. Catalogue de vases d'expansion

Type	Volume [l]	Press. de gonfl. [bar]	Dimensions				Membrane	Raccord (E)	Poids [kg]		Code
			A [mm]	B [mm]	Ø C [mm]	D [mm]					
Flexcon Premium 8/0.5 [3bar]	8	0,5	245	277	-	-	Butyl	R 3/4"	2,2	77	16913
Flexcon Premium 12/0.5 [3bar]	12	0,5	286	309	-	-	TPO	R 3/4"	2,7	60	16914
Flexcon Premium 18/0.5 [3bar]	18	0,5	286	405	-	-	TPO	R 3/4"	3,4	48	16916
Flexcon Premium 18/1.0 [3bar]	18	1,0	286	405	-	-	TPO	R 3/4"	3,4	48	16917
Flexcon Premium 25/0.5 [3bar]	25	0,5	328	421	-	-	TPO	R 3/4"	4,3	25	16922
Flexcon Premium 25/1.0 [3bar]	25	1,0	328	421	-	-	TPO	R 3/4"	4,3	25	16923
Flexcon Premium 35/0.5 [3bar]	35	0,5	396	435	263	118	TPO	R 3/4"	5,3	18	16928
Flexcon Premium 35/1.0 [3bar]	35	1,0	396	435	263	118	TPO	R 3/4"	5,3	18	16929
Flexcon Premium 35/1.5 [3bar]	35	1,5	396	435	263	118	TPO	R 3/4"	5,3	18	16930

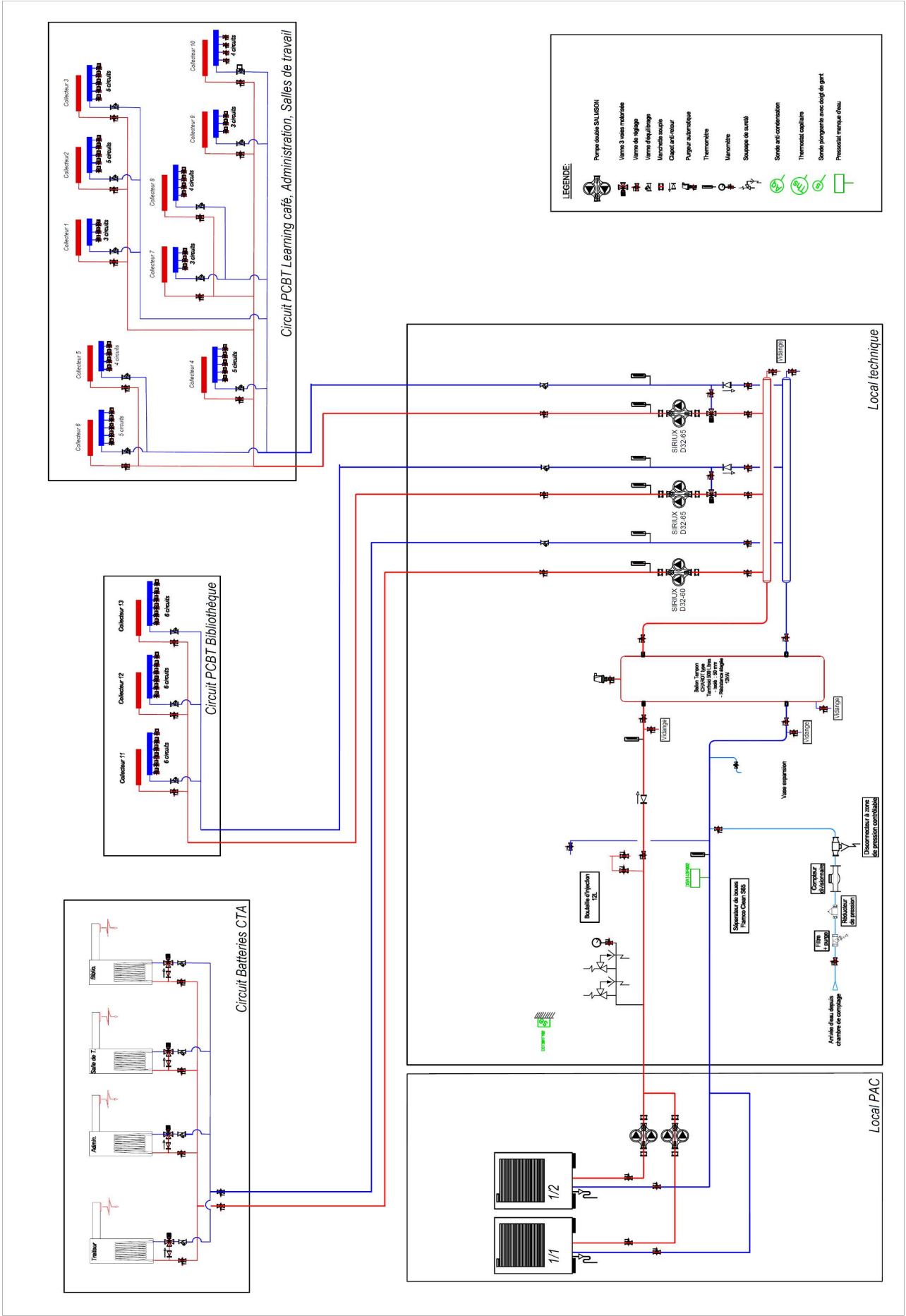
Type	Volume [l]	Press. de gonfl. [bar]	Dimensions				Membrane	Raccord (E)	Poids [kg]		Code
			A [mm]	B [mm]	Ø C [mm]	D [mm]					
Flexcon Premium 2/0.5 [6bar]	2	0,5	216	144	-	-	Butyl	G 3/4" M	1,7	120	16937
Flexcon Premium 4/0.5 [6bar]	4	0,5	216	192	-	-	Butyl	G 3/4" M	2,1	90	16939
Flexcon Premium 50/0.5 [6bar]	50	0,5	437	493	263	134	Butyl	R 3/4"	11,4	12	16958
Flexcon Premium 50/1.0 [6bar]	50	1,0	437	493	263	134	Butyl	R 3/4"	11,4	12	16932
Flexcon Premium 50/1.5 [6bar]	50	1,5	437	493	263	134	Butyl	R 3/4"	11,4	12	16959
Flexcon Premium 80/0.5 [6bar]	80	0,5	519	534	360	140	Butyl	R 1"	15,0	12	16962
Flexcon Premium 80/1.0 [6bar]	80	1,0	519	534	360	140	Butyl	R 1"	15,0	12	16935
Flexcon Premium 80/1.5 [6bar]	80	1,5	519	534	360	140	Butyl	R 1"	15,0	12	16963
Flexcon Premium 80/2.5 [6bar]	80	2,5	519	534	360	140	Butyl	R 1"	15,0	12	16964

Type	Volume [l]	Press. de gonfl. [bar]	Dimensions			Raccord (D)	Poids [kg]		Code
			A [mm]	B [mm]	Ø C [mm]				
Flexcon 110/0.5 [6bar]	110	0,5	484	784	360	R 1"	19,1	8 *	16115
Flexcon 110/1.0 [6bar]	110	1,0	484	784	360	R 1"	19,1	8 *	16116
Flexcon 110/1.5 [6bar]	110	1,5	484	784	360	R 1"	19,1	8 *	16117
Flexcon 110/2.0 [6bar]	110	2,0	484	784	360	R 1"	19,1	8 *	16119
Flexcon 110/2.5 [6bar]	110	2,5	484	784	360	R 1"	19,1	8 *	16120
Flexcon 140/0.5 [6bar]	140	0,5	484	950	360	R 1"	20,1	8 *	16145
Flexcon 140/1.0 [6bar]	140	1,0	484	950	360	R 1"	20,1	8 *	16146
Flexcon 140/1.5 [6bar]	140	1,5	484	950	360	R 1"	20,1	8 *	16147
Flexcon 140/2.0 [6bar]	140	2,0	484	950	360	R 1"	20,1	8 *	16141
Flexcon 140/2.5 [6bar]	140	2,5	484	950	360	R 1"	20,1	8 *	16142
Flexcon 140/3.0 [6bar]	140	3,0	484	950	360	R 1"	20,1	8 *	16143
Flexcon 200/0.5 [6bar]	200	0,5	484	1300	450	R 1"	27,6	8 *	16205
Flexcon 200/1.0 [6bar]	200	1,0	484	1300	450	R 1"	27,6	8 *	16206

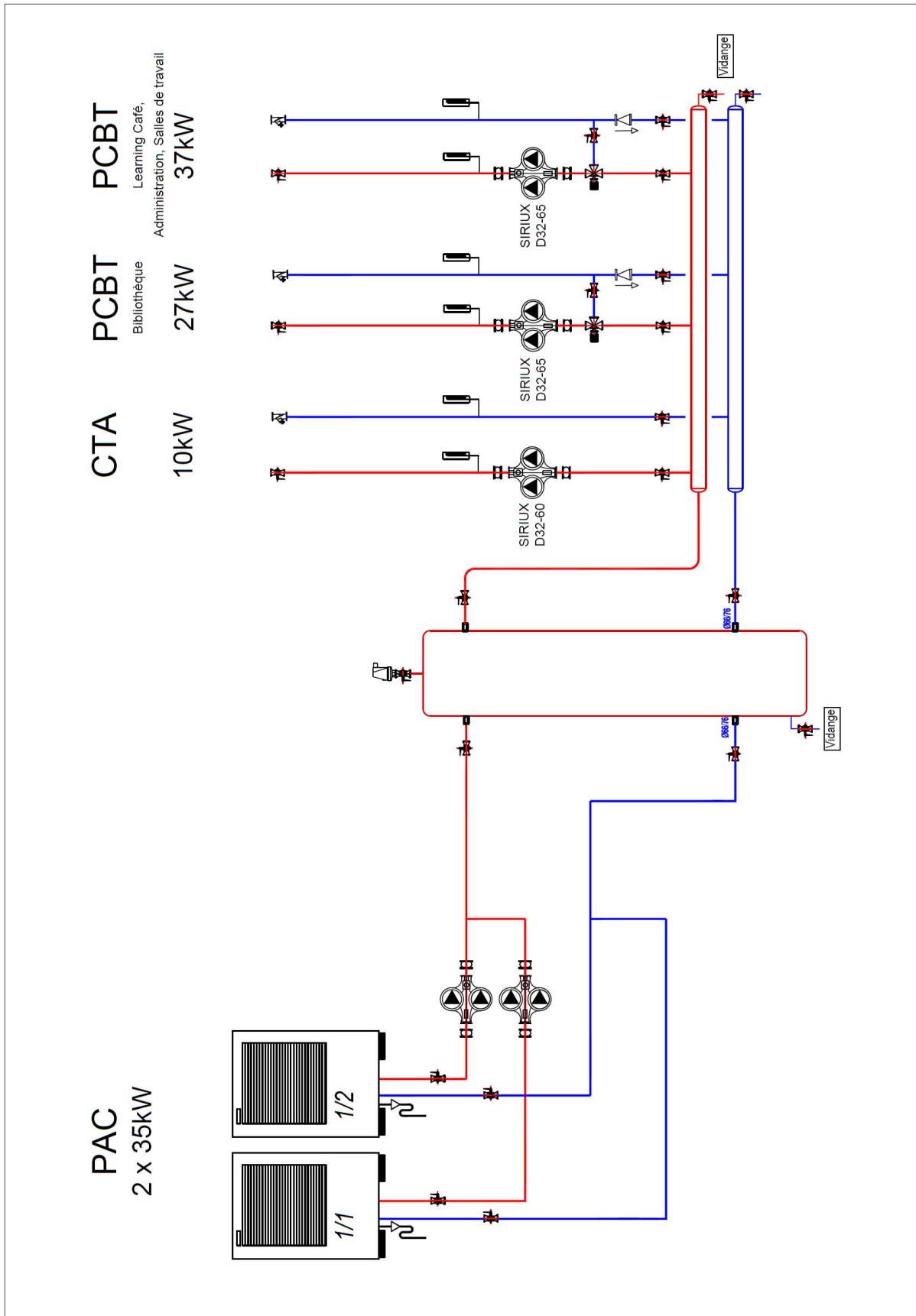
Annexe 8. Plan de la ventilation de la bibliothèque



Annexe 9. Schéma de principe du chauffage



DR1 : Schéma de principe simplifié



DR2 : Diagramme enthalpique R407C

