

NOTE D'INFORMATION SAPC.N° 17

**Méthode de calcul pour vases d'expansion  
dans des installations  
de chauffage central et de refroidissement**

## Contenu note d'information SAPC n° 17

### **1. Généralités**

- 1.1. Introduction
- 1.2. Détermination générale du volume d'expansion
  - 1.2.1. Contenu en eau de l'installation  $C_1$
  - 1.2.2. Volume d'expansion physique  $V_{ep}$
  - 1.2.3. Réserve d'eau théorique  $R_t$
  - 1.2.4. Volume net  $V_n$
  - 1.2.5. Volume utile  $V_u$
  - 1.2.6. Réserve d'eau réelle  $R$
- 1.3. Emplacement du système d'expansion

### **2. Détermination des vases d'expansion à pression variable (quantité d'air fixe)**

- 2.1. Notions de base
  - 2.1.1. Loi de Boyle–Mariotte
  - 2.1.2. Colonne d'eau d'une installation  $p_h$
  - 2.1.3. Pression de vaporisation  $p_v$
  - 2.1.4. Pression de gonflage  $p_g$
  - 2.1.5. Pression initiale  $p_i$
  - 2.1.6. Pression finale  $p_f$
  - 2.1.7. Pression maximale  $p_m$
  - 2.1.8. Pression d'ouverture des soupapes de sécurité  $p_s$
  - 2.1.9. Volume total théorique et réel  $V_{tt}$  et  $V_{tr}$
  - 2.1.10. Volume initial  $V_i$
  - 2.1.11. Volume final  $V_f$
  - 2.1.12. Volume utile  $V_u$
- 2.2. Dimensionnement: équations
  - 2.2.1. Rendement de volume ou facteur de pression  $F_p$
  - 2.2.2. Volume total théorique et réel du vase d'expansion  $V_{tt}$  et  $V_{tr}$
  - 2.2.3. Volume utile  $V_u$
  - 2.2.4. Réserve d'eau réelle  $R$
  - 2.2.5. Pression initiale  $P_i$
  - 2.2.6. Exemple

### **3. Détermination des vases d'expansion à pression constante (quantité d'air variable)**

- 3.1. Notions de base
  - 3.1.1. Pression réglée  $p_r$
  - 3.1.2. Capacité du compresseur  $q_c$
  - 3.1.3. Capacité de décharge
- 3.2. Dimensionnement: équations
  - 3.2.1. Volume total du système d'expansion  $V_{tt}$  et  $V_{tr}$
  - 3.2.2. Volume utile  $V_u$
  - 3.2.3. Réserve d'eau réelle  $R$
  - 3.2.4. Exemple
  - 3.2.5. Détermination de la capacité du compresseur  $q_c$
  - 3.2.6. Exemple

### **4. Autres éléments et déterminations**

- 4.1. Vase tampon
- 4.2. Choix du système d'expansion

## 1. Généralités

### 1.1. Introduction

Les vases d'expansion sont des dispositifs de sécurité pour les installations de chauffage central en circuit fermé. Ils sont destinés à absorber les changements de volume causés par le réchauffement ou le refroidissement de l'installation.

Les systèmes d'expansion sous-dimensionnés causent des perturbations du fonctionnement et endommagent l'installation. Lors du refroidissement, il se forme une dépression dans l'installation, ce qui entraîne une infiltration d'air par les joints, par les purgeurs automatiques installés à des points élevés etc.; lors du réchauffement, le système d'expansion ne peut plus accueillir d'eau, ce qui cause une perte d'eau d'installation par les soupapes de sécurité. L'infiltration d'air introduit de l'oxygène dans l'installation, d'où la possibilité d'une corrosion des surfaces d'acier non traitées. En outre, des bulles d'air empêchent une bonne circulation, elles peuvent endommager la pompe, etc.

Nous distinguons deux principes de fonctionnement:

- un système d'expansion à pression variable  
(quantité d'air fixe: CC 105 Art. C5 § 1)
- un système d'expansion à pression constante  
(quantité d'air variable: CC 105 Art. C5 § 2)

### 1.2. Détermination générale du volume d'expansion

#### 1.2.1. Le contenu en eau de l'installation : $C_i$ [ℓ]

Le contenu en eau de l'installation est déterminé par les composantes suivantes:

- la chaudière: le contenu en eau dépend du modèle et de la marque. Tant pour les chaudières en acier que pour les chaudières en fonte, celui-ci est normalement compris entre 1,5 ℓ et 3,5 ℓ/kW de puissance de la chaudière.
- les conduits de chauffage: le contenu en eau des conduits dépend du dimensionnement et du tracé. Celui-ci doit être calculé soigneusement au moyen du mètre de la tuyauterie.
- les corps de chauffe: le contenu en eau dépend du modèle des corps de chauffe (convecteurs, radiateurs en acier, radiateurs en tôle d'acier, radiateurs en fonte, batteries de chauffage, échangeurs de chaleur...) et de la marque.

Le diagramme ci-dessous (fig. 1) indique approximativement le contenu en eau d'une installation ordinaire avec un tracé moyen de conduits à circulation accélérée pour les différents modèles de radiateurs en fonction de la puissance calorifique en kW.

Pour la détermination des installations un calcul précis est exigé.

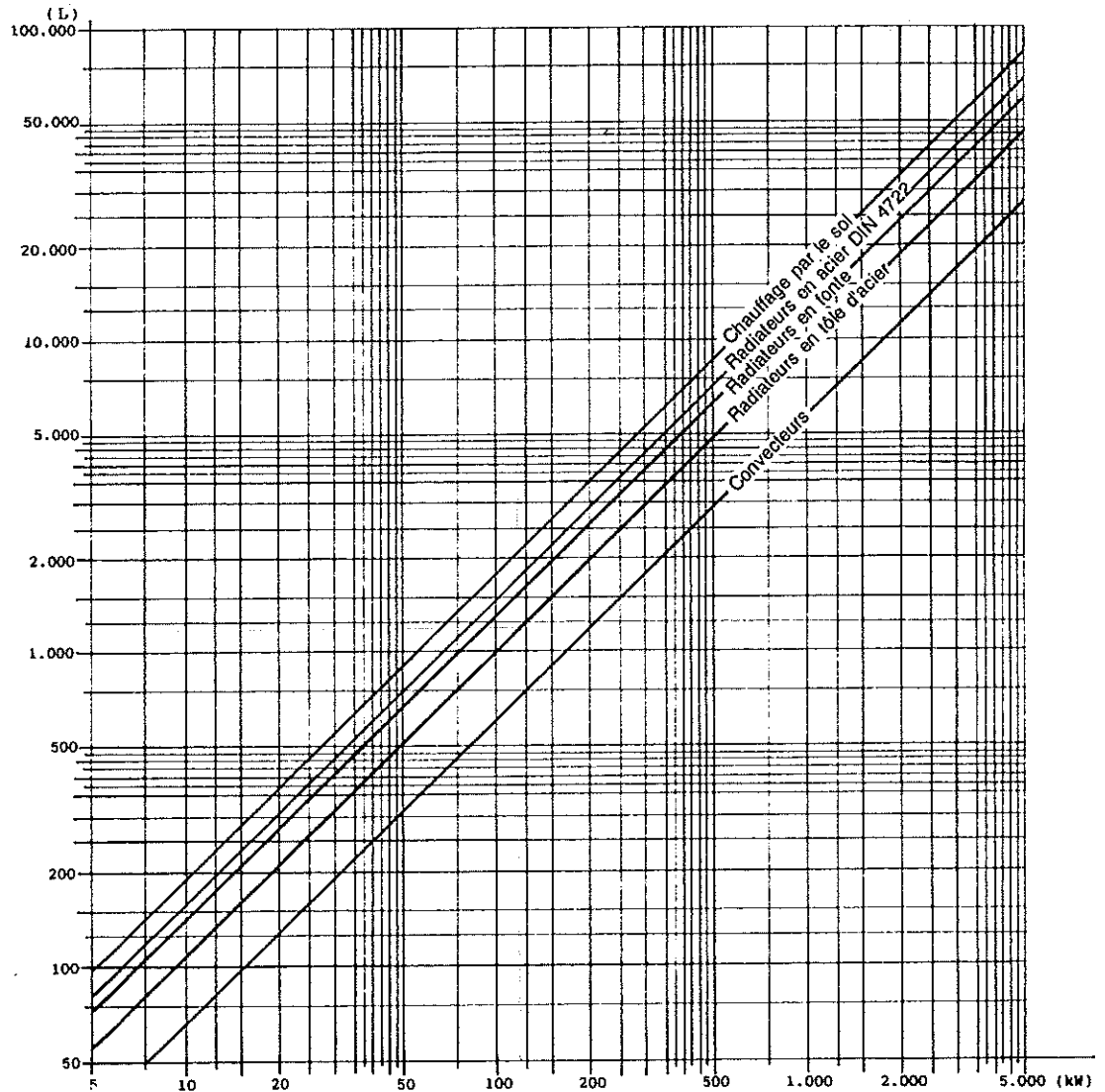


diagramme (fig. 1)

Contenance moyenne en eau d'une installation de chauffage central en fonction de la puissance.

(Attention: des radiateurs en acier DIN 4722 = radiateurs à colonne composés de colonnes en tôle d'acier  
des radiateurs en tôle d'acier = des radiateurs modernes avec lamelles à convection)

### 1.2.2. Le volume d'expansion physique : $V_{ep}$ [ℓ]

A une pression atmosphérique de 1013 mbar et à une température de 4° C, l'eau possède sa masse volumique la plus élevée, qui équivaut à 1 kg/dm<sup>3</sup> et se dilate de 4,31% lors du réchauffement de 4°C à 100°C. Le tableau 1 donne le coefficient d'expansion ( $c_e$ ) (en %) de l'eau, au départ de 4° C, en fonction des températures de service maximales (voir également la fig. 2).

Les vases d'expansion doivent au moins pouvoir absorber l'expansion lors du réchauffement complet de l'installation. Pour des installations de chauffage, la température de réchauffement est supposée être la température de départ (généralement 90°C). Pour les installations de refroidissement, la température de réchauffement maximale est égale à la température ambiante maximale (généralement 30°C).

$$V_{ep} = C_i \cdot \frac{c_e}{100}$$

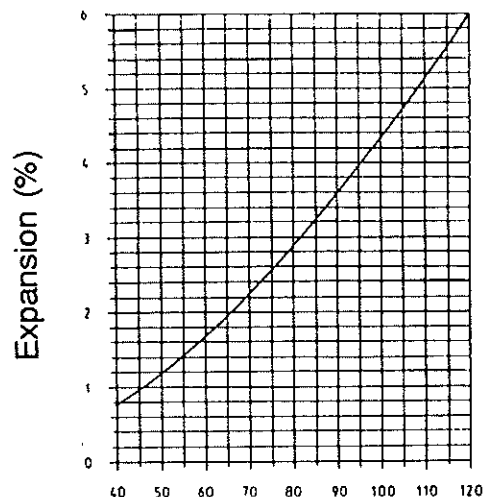
$V_{ep}$  = volume d'expansion physique [ℓ]

$C_i$  = contenu en eau total de l'installation [ℓ]

$c_e$  = coefficient d'expansion en pourcentage d'eau à la température maximale de réchauffement (pour chauffage: température de départ) (pour les installations ordinaires 90° = 3,55%) (voir aussi appendice A)

[°C]	$c_e$ [%]
30	0,44
40	0,75
50	1,17
60	1,67
70	2,24
80	2,86
90	3,55
100	4,31
110	5,11
120	5,99

tableau 1



Température [°C]  
figure 2

Attention: si des additifs, p.ex. des produits antigel, sont ajoutés à l'eau, ces coefficients d'expansion peuvent varier considérablement.

### 1.2.3. Réserve d'eau théorique : $R_t$ [ℓ]

Un vase d'expansion doit pouvoir absorber une quantité d'eau supérieure à la seule quantité d'expansion de l'installation. En effet, si l'on se limitait à la seule quantité de l'expansion, le vase ne contiendrait pas d'eau lorsque l'installation est refroidie.

Il s'agit en fait d'une situation abstraite: Il est impossible de remplir une installation avec une telle précision; d'éventuelles fuites et des pertes d'eau lors de la purge en fournissent la preuve.

On doit donc prévoir une réserve d'eau  $R_t$  qui – avec le volume d'expansion physique  $V_{ep}$  – sera également accueillie dans le vase d'expansion. Cette réserve d'eau représentera 1% du contenu total  $C_i$  de l'installation:

$$R_t = C_i \cdot 0,01$$

$R_t$  = réserve d'eau théorique

$C_i$  = contenu en eau de l'installation

### 1.2.4. Le volume net : $V_n$ [ℓ]

est obtenu par la somme du volume d'expansion physique et de la réserve d'eau théorique.

$$V_n = V_{ep} + R_t$$

$V_n$  = volume net

$V_{ep}$  = volume d'expansion physique

$R_t$  = réserve d'eau théorique

### 1.2.5. Le volume utile : $V_u$ [ℓ]

Selon l'offre du marché, il faut toujours choisir un vase d'expansion qui peut contenir un volume utile  $V_u$  équivalant au moins au volume net  $V_n$ , mais qui sera pourtant, dans beaucoup de cas, plus grand.

$$V_u \geq V_n$$

### 1.2.6. Réserve d'eau réelle : $R_r$ [ℓ]

La réserve d'eau réelle que peut contenir le vase d'expansion

$$R_r > R_t$$

$$R_r = V_u - V_{ep}$$

### 1.3. Emplacement du système d'expansion

Le point de raccordement du système d'expansion doit se trouver, de préférence, sur le circuit de retour de l'installation, car à cet endroit, la température est favorable à une durée de vie plus longue de la membrane et la diffusion d'air à travers la membrane diminue.

Le système d'expansion est toujours monté du côté aspiration du circulateur, parce qu'il forme le point zéro hydraulique de l'installation. En cas d'utilisation de plusieurs circulateurs à des endroits différents, on prendra toujours en considération ce qui suit:

tuyau d'aspiration (= partie vase d'expansion → circulateur):  
aussi court que possible

tuyau de pression (= partie circulateur → vase d'expansion):  
aussi long que possible

## 2. Détermination des vases d'expansion à pression variable (quantité d'air fixe)

### 2.1. Notions de base

On notera que toutes les pressions (bar) indiquées sont des pressions relatives, excepté sous 2.1.1..

#### 2.1.1. Loi de Boyle–Mariotte

$$p \cdot V = \text{constant (à température constante)}$$

Cette loi du gaz est valable lorsque la température est constante. Par contre, en réalité, la température du gaz de pression dans le vase peut changer. Cette déviation est corrigée de façon indirecte en utilisant le coefficient d'expansion de la température de départ au lieu de celui de la température moyenne de l'installation (voir aussi appendice A).

#### 2.1.2. Colonne d'eau d'une installation : $p_h$ [bar]

La pression produite par la différence en hauteur entre le point de raccordement du vase d'expansion et le point le plus élevé de l'installation.

$$p_h = \rho \cdot g \cdot h \quad [\text{Pa}]$$

$$p_h = 1 \cdot 9,81 \cdot h \quad [\text{Pa}]$$

$$\text{ou simplement } p_h \text{ [bar]} \approx \frac{h \text{ [m]}}{10}$$

#### 2.1.3. Pression de vaporisation : $p_v$ [bar]

La pression nécessaire pour éviter que l'eau ne se vaporise (bouillonnement) à des températures de départ au-dessus de 100°. (p.ex.: 110 °C:  $p_v \approx 0,5$  bar)

#### 2.1.4. Pression de gonflage : $p_g$ [bar]

La pression du vase d'expansion n'ayant pas encore accueilli d'eau, p.ex. avant le raccordement à l'installation

$$p_g = p_h + p_v + 0,3 \text{ bar (} p_g = \text{minimum } 0,5 \text{ bar)}$$

Remarque: ceci est surtout important pour des installations en toiture et pour des bâtiments à un seul niveau:

1) dans certaines situations le danger se présente que la pression du côté aspiration du circulateur ( $P_{\text{circ}}$ ) soit inférieure à la NPSH (Net Positive Suction Height) de ce dernier ; c'est pourquoi  $p_g$  doit être également choisi en fonction de ce qui suit:

NPSH	<	$p_{\text{circ}} \pm \Delta p$ (pointzéro-circ)
$p_g$	$\geq$	$p_{\text{circ}}$
$p_{\text{circ}}$	=	pression à hauteur du côté aspiration du circulateur (circ)
$\Delta p$ (pointzéro-circ)	=	différence de pression entre le point de raccordement au vase d'expansion (pointzéro) et le côté aspiration du circulateur (circ)

2) étant donné que la pression dans la chaudière ne peut jamais être inférieure à la valeur indiquée par le fabricant,  $p_g$  doit être choisi également en fonction de ce qui suit:

press. min chaud.	<	$p_{\text{ch}}$
$p_g$	$\geq$	$p_{\text{ch}} \pm \Delta p$ (pointzéro-ch)
$p_{\text{ch}}$	=	pression à hauteur de la chaudière
$\Delta p$ (pointzéro-ch)	=	différence de pression entre le point de raccordement du vase d'expansion (pointzéro) et la chaudière (ch)

(voir aussi appendice B)

#### 2.1.5. Pression initiale : $p_i$ [bar]

La pression à hauteur du vase d'expansion dans une installation qui est encore froide et complètement remplie, alors que le vase d'expansion a accueilli la réserve d'eau réelle ( $R_r$ ). Il règne alors une surpression à tous les points de l'installation.

#### 2.1.6. Pression finale : $p_f$ [bar]

La pression à hauteur du vase d'expansion dans une installation complètement réchauffée. Le vase d'expansion a accueilli le volume utile ( $V_u$ ).

### 2.1.7. Pression maximale : $p_m$ [bar]

La pression maximale admissible au vase d'expansion; la pression d'ouverture des soupapes de sécurité aux chaudières est atteinte (voir 2.1.8.).

$$p_m > p_r$$

### 2.1.8. Pression d'ouverture des soupapes de sécurité : $p_s$ [bar]

La pression d'ouverture des soupapes de sécurité doit donc être choisie de telle façon qu'une pression supérieure à la pression maximale admissible à ce point soit impossible en tout point pour l'ensemble de l'installation.

#### Remarque:

Etant donné qu'en raison d'une différence dans la colonne d'eau, de pertes dans les tuyaux etc... une différence de pression importante peut se produire entre le point de montage des soupapes de sécurité et le point de raccordement du système d'expansion, on tiendra compte de:

$$p_m \leq p_s \pm \Delta p(\text{point zéro-chaudière})$$

(voir aussi appendice C)

Aucune soupape de sécurité ne se ferme à la même pression que la pression à laquelle elle s'ouvre (hystérésis).

Il est donc à conseiller de tenir compte de ce fait afin de prévenir un déclenchement inutile des soupapes de sécurité. On en tiendra donc compte au moment de choisir la pression finale du vase d'expansion:

$$p_r = p_m - 0,5 \text{ bar}$$

### 2.1.9. Volume total théorique et réel : $V_{tt}$ et $V_{tr}$ [ℓ]

$V_{tt}$  = le volume d'air dans le vase d'expansion vide, calculé théoriquement

$V_{tr}$  = idem, mais choix pratique selon l'offre du marché

2.1.10. Volume initial :  $V_i$  [ℓ]

Le volume d'air dans le vase d'expansion alors qu'il a accueilli la réserve d'eau, à une pression égale à  $p_i$

2.1.11. Volume final :  $V_f$  [ℓ]

Le volume d'air du vase d'expansion dans une installation complètement réchauffée. Le vase d'expansion a accueilli le volume utile  $V_u$  à une pression  $p_f$ .

2.1.12. Volume utile :  $V_u$  [ℓ]

Le volume d'eau maximal que le vase peut accueillir entre  $p_g$  et  $p_f$ .

$$V_u = V_{tr} - V_f$$

$$V_u \geq V_n$$

## 2.2. Dimensionnement: équations

Les équations ci-dessous seront explicitées par après au moyen d'un exemple simple. Le calcul se déroule en trois phases:

- détermination du volume net  $V_n$  (voir 1.2.4.)
- détermination du rendement de volume  $F_p$  (voir 2.2.1.)
- détermination du volume total théorique  $V_{tt}$  et du volume total réel  $V_{tr}$  (voir 2.2.2.)

### 2.2.1. Rendement de volume ou facteur de pression : $F_p$

Le rendement de volume est déterminé en fonction de la pression de gonflage ( $p_g$ ) et de la pression finale ( $p_f$ ) de l'installation.

$$F_p = \frac{(p_f + 1) - (p_g + 1)}{(p_f + 1)}$$

Dans le cas où le type choisi a un rendement de volume restreint à cause des limites de construction, on tiendra compte de cette valeur limitée lors du calcul définitif (voir appendice D)

### 2.2.2. Volume total théorique et réel du vase d'expansion : $V_{tt}$ et $V_{tr}$ [ℓ]

$$V_{tt} = \frac{V_e}{F_p}$$

ensuite, on choisit  $V_{tr}$  suivant l'offre du marché:

$$V_{tr} \geq V_{tt}$$

### 2.2.3. Volume utile : $V_u$ [ℓ]

$$V_u = V_{tr} \cdot F_p$$

### 2.2.4. Réserve d'eau réelle : $R_r$ [ℓ]

$$R_r = V_u - V_{ep}$$

2.2.5. Pression initiale :  $p_i$  [bar]

$$p_i = \frac{V_{tr} \cdot (p_g + 1)}{V_{tr} - R_r} - 1$$

2.2.6. Exemples

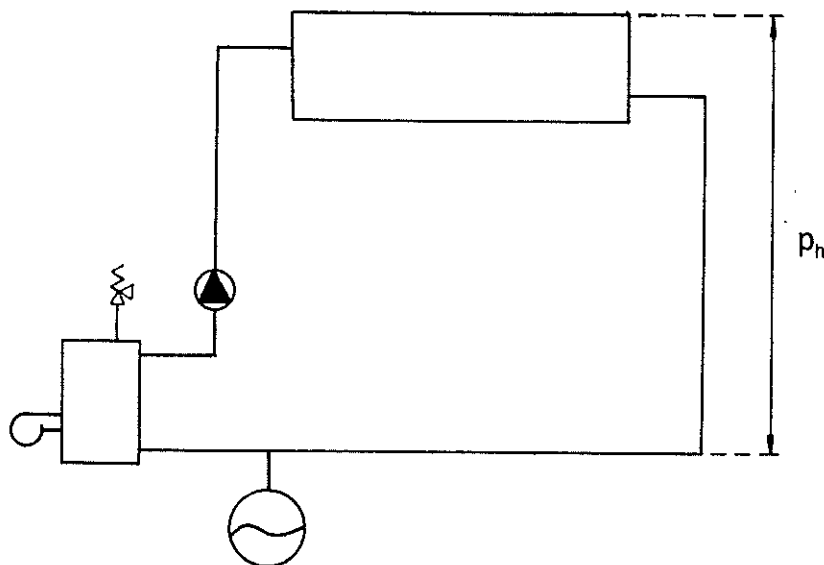
premier exemple: calculé à la page 14

attention: il s'agit d'un exemple, élaboré au moyen d'une feuille de calcul simplifiée.

Données de base:

- Contenu en eau de l'installation  $C_i = 200\ell$
- Régime de température:  $90/70\text{ }^\circ\text{C}$
- Pression d'ouverture soupape de sécurité:  $p_s = 3\text{bar}$
- Hauteur de la colonne d'eau  $p_h = 7\text{ m}$

Schéma simplifié de cette installation:



exemples de cas spéciaux: voir appendice E

### CALCUL VOLUME D'EXPANSION:

Contenu du système (calculé)	:	200	[ℓ]	$C_i$
(estimé : kW x ℓ/kW)	:			
Coefficient d'expansion à 90 °C	: x	3,55	[%]	$x_{C_0}$
<hr/>				
Volume d'expansion physique	:	7,1	[ℓ]	$=V_{ep}$
1% réserve ( $C_i \times 0,01$ )	: +	2	[ℓ]	$+R_t$
<hr/>				
VOLUME NET	:	9,1	[ℓ]	$=V_n$

### CALCUL VASE D'EXPANSION:

Pression gonflage	= colonne d'eau $p_h$ ( $= \frac{h [m]}{10}$ ) + 0,3 bar (l $p_g = \min 0,5$ bar)	(attention à la NPSH du circulateur et à la pression de service minimale de la chaudière: adapter éventuellement $p_g$ )
	$= \frac{7 [m]}{10} [bar] + 0,3 \text{ bar}$	$= 1 [bar] = p_g$
Pression finale	= pression maximale $p_m - 0,5$ bar	(att. à $\Delta p$ entre pointzéro et chaudière, s.i. d'une différence de hauteur ou d'un circulateur présent p.ex.; prendre en compte la différence entre $p_m$ et $p_i$ )
	$= 3 [bar] - 0,5 \text{ bar}$	$= 2,5 [bar] = p_f$
Rendement de volume	$= \frac{(p_f+1)-(p_g+1)}{(p_f+1)} = \frac{(2,5+1)-(1+1)}{(2,5+1)}$	$= 0,428 = F_p$
Volume Total Théorique	$= \frac{\text{VOLUME NET } V_n}{\text{rendement volume } F_p} = \frac{9,1}{0,428}$	$= 21,3 [ℓ] = V_{tt}$

### CHOIX DU MATERIEL:

Volume Total Réel	$1 \times \text{vase d'expansion type } 25$	$= V_{tr}$
Réserve réelle	$= (V_{tr} \times F_p) - V_{ep} = (25 \times 0,428) - 7,1$	$= 3,6 [ℓ] = R_r$
Pression initiale	$= \frac{V_{tr} \times (p_g + 1)}{V_{tr} - R_r} - 1 = \frac{25 \times (1+1)}{25 - 3,6} - 1$	$= 1,3 [bar] = p_i$

### 3. Détermination des vases d'expansion à pression constante (quantité d'air variable)

#### 3.1. Notions de base

Les termes mentionnés sous 2.1.4. ( $p_g$ ), 2.1.5. ( $p_i$ ) et 2.1.6 ( $p_r$ ) ne sont pas d'application et sont remplacés par une seule notion:  $p_r$

##### 3.1.1. Pression réglée : $p_r$ [bar]

La pression à laquelle le système d'expansion est réglé. En cas de chute de la pression régnant dans l'installation, p.ex. à cause d'un refroidissement, le compresseur se met en marche. Si la pression monte, p.ex. en cas de réchauffement, la soupape d'évacuation s'ouvrira.

$$p_r = p_n + p_v + 0,5 \text{ bar}$$

Remarque: les remarques faites sous 2.1.4. et 2.1.8. sont également d'application ici. (voir aussi appendice B)

##### 3.1.2. Capacité du compresseur : $q_c$ [l/h]

Il est nécessaire de calculer la production d'air du compresseur en fonction des critères suivants:

Variation de charge maximale : Q [kW]

Par ce terme on entend la variation maximale des charges à laquelle on doit s'attendre pendant l'exploitation normale du chauffage. Cette variation peut résulter de l'enclenchement d'un ou plusieurs groupes consommateurs de grande puissance, ou du déclenchement d'un ou plusieurs groupes générateurs de chaleur. Dans le cas extrême, cette variation de charge correspond à la puissance calorifique totale de l'installation.

Exemple

- Brûleurs à commande "marche-arrêt" au lieu de réglage modulant
- Enclenchement à pleine puissance d'un aérotherme ou plusieurs unités simultanément
- Enclenchement à pleine puissance de machines frigorifiques à absorption etc.

Le résultat est le même, qu'il s'agisse de l'arrêt d'une chaudière ou d'un brûleur, ou de l'enclenchement d'un groupe consommateur: la

température moyenne s'abaisse temporairement. Autrement dit, du fait du refroidissement le volume d'eau diminue immédiatement, le vase d'expansion doit restituer de l'eau à l'installation. Le débit d'air comprimé pour compenser le volume pendant cette phase détermine la puissance du compresseur. Celle-ci dépend du déficit momentané dans le bilan thermique de l'installation. C'est pourquoi la variation maximale de charge attendue est une grandeur de référence à prendre en compte.

Température moyenne de l'installation :  $t$  [°C]

Alors que pour calculer la grandeur correcte du vase d'expansion on tiendra compte de la température maximum de l'installation, on peut se servir de la température moyenne pour calculer la puissance du compresseur. Cela est possible, puisque la puissance du compresseur n'est jamais nécessaire quand l'installation calorifique est en équilibre, mais toujours pendant la phase de refroidissement. Comme température moyenne on peut utiliser la moyenne des températures théoriques de retour et de départ, à pleine charge de l'installation.

Pression réglée au groupe de commande :  $p_r$  [bar]

Le débit d'air comprimé diminue au fur et à mesure qu'augmente le niveau de compression demandée. D'une part le rendement du compresseur diminue, de l'autre le volume utile diminue en raison de la compression plus élevée. Pour cette raison il faut tenir compte de la pression de service à laquelle le groupe automatique doit être réglée.

Pour une détermination exacte de la capacité du compresseur voir 3.2.5.

### 3.1.3. Capacité de décharge

En principe le raisonnement est le même que pour le compresseur, mais dans le sens inverse.

### 3.2. Dimensionnement: équations

La capacité d'accueil d'eau du vase ne dépend pas de la pression réglée ( $p_r$ ). A cause du type de fonctionnement de ce système d'expansion (la pression ne peut jamais monter ou descendre), le calcul de la compression du gaz de pression n'est pas d'application.

#### 3.2.1. Volume total théorique et réel du système d'expansion : $V_{tt}$ et $V_{tr}$ [ $\ell$ ]

$$V_{tt} = V_n$$

Ensuite, on choisit  $V_{tr}$  selon l'offre du marché

$$V_{tr} \geq V_{tt}$$

#### 3.2.2. Volume utile : $V_u$ [ $\ell$ ]

$$V_u = V_{tr}$$

(Voir aussi appendice F)

#### 3.2.3. Réserve d'eau réelle : $R_r$ [ $\ell$ ]

$$R_r = V_{tr} - V_{op}$$

(Voir aussi appendice F)

3.2.4. Exemple

---

**CALCUL VOLUME D'EXPANSION:**

Contenu du système (calculé)	:	5000	[ℓ]	$C_1$
(estimé : $\text{kW} \times \frac{\text{ℓ}}{\text{kW}}$ )				
Coefficient d'expansion à 20 °C	:	x 3,55	[%]	$\alpha C_0$
<hr/>				
Volume d'expansion physique	:	177,5	[ℓ]	$=V_{ep}$
1% réserve ( $C_1 \times 0,01$ )	:	+ 50	[ℓ]	$+R_1$
<hr/>				
VOLUME NET	:	227,5	[ℓ]	$=V_n$

---

**CALCUL VASE D'EXPANSION:**

VOLUME TOTAL THEORIQUE = VOLUME NET 230 [ℓ] =  $V_{tt}$

CAPACITE DU COMPRESSEUR : voir feuille séparée

---

**CHOIX DU MATERIEL:**

VOLUME TOTAL REEL: 1 x vase d'expansion type 300 =  $V_{tr}$

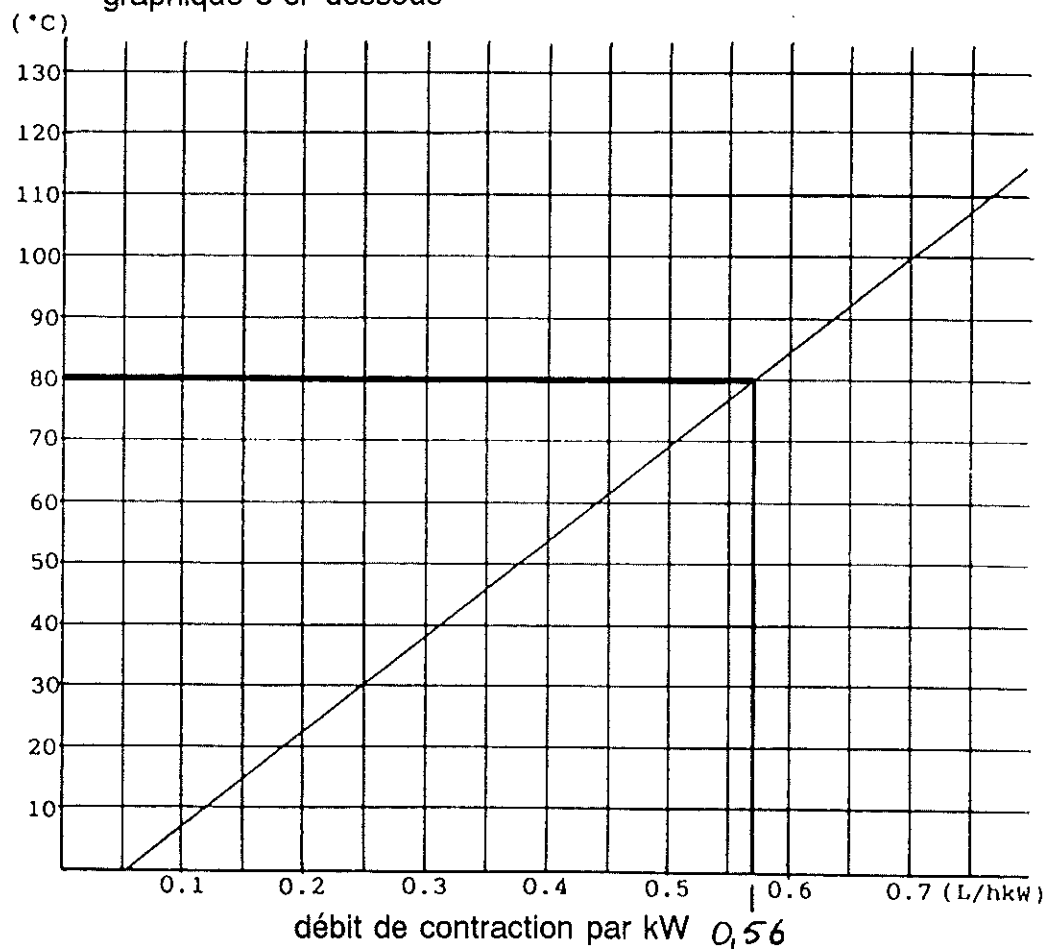
Réserve réelle=  $(V_{tr} - V_{ep}) = (300 - 177,5) = 122,5$  [ℓ] =  $R_r$

Pression réglée= [bar] =  $p_r$

### 3.2.5. Détermination de la capacité du compresseur : $q_c$ [ℓ/h]

Les données suivantes sont déterminées au préalable:

- la variation de charge maximale estimée  $Q$  [kW]  
(le plus souvent la moitié de la puissance installée)
- la température moyenne  $t$  [°C]
- la pression réglée dans l'installation  $p_r$  [bar]
- le débit de contraction  $q$  [ℓ/hkW], déterminé au moyen du graphique 3 ci-dessous



Graphique 3

L'équation devient alors:

$$q_c = q \cdot Q$$

3.2.6. Exemple

---

**CALCUL DE CAPACITE DU COMPRESSEUR**

Puissance installé	:	1500	[kW]	
Variation de charge maximale	:	750	[kW]	Q
Débit de contraction par kW à 80 °C	:	0,56	[l/h par kW]	x q
Débit air comprimé requis minimale	:	420	[l/h]	= q <sub>c</sub>
Pression réglée	:	à une pression de	[bar]	p <sub>r</sub>

---

**CHOIX DU MATERIEL**

Propos:                    x compresseur type

<sup>(1)</sup>Incorporé standard dans le coffret de commande type

<sup>(1)</sup>Montage séparée, commandé par coffret de commande type

<sup>(1)</sup> biffer ce qui ne convient pas

#### 4. Autres éléments et conditions

##### 4.1. Vase tampon

Etant donné le vieillissement rapide du caoutchouc et la diffusion d'air plus importante à travers la membrane à des températures plus élevées, la température doit être limitée dans chaque vase d'expansion.

Il faut donc toujours prévoir un vase tampon pour toutes les installations à eau surchauffée (temp. > + 111 °C).

Pour des installations 90/70° C avec une température d'eau continuellement élevée de > +60 °C à hauteur du point de raccordement du vase d'expansion, il faut également prévoir un vase tampon.

Le volume du vase tampon s'élève au minimum à 20% du volume net ( $V_n$ ) du vase d'expansion.

Dans des installations avec de très grandes variations de volume, suite à des régimes de chauffe très variables, le volume du vase tampon peut atteindre jusqu'à 50% du  $V_n$ , entre autres, en fonction de la température à hauteur du point de raccordement à l'installation.

##### 4.2. Choix du type de système d'expansion

Le choix entre un système à pression variable et un système à pression constante est fait sur base des critères suivants:

- le volume d'expansion
- la colonne d'eau ( $p_n$ ), la pression de gonflage éventuelle ( $p_g$ ) et la pression maximale admissible ( $p_m$ )  
(rendement du volume  $F_p$  de vases d'expansion à pression variable)
- la place disponible
- le prix

On peut retenir comme règle générale:

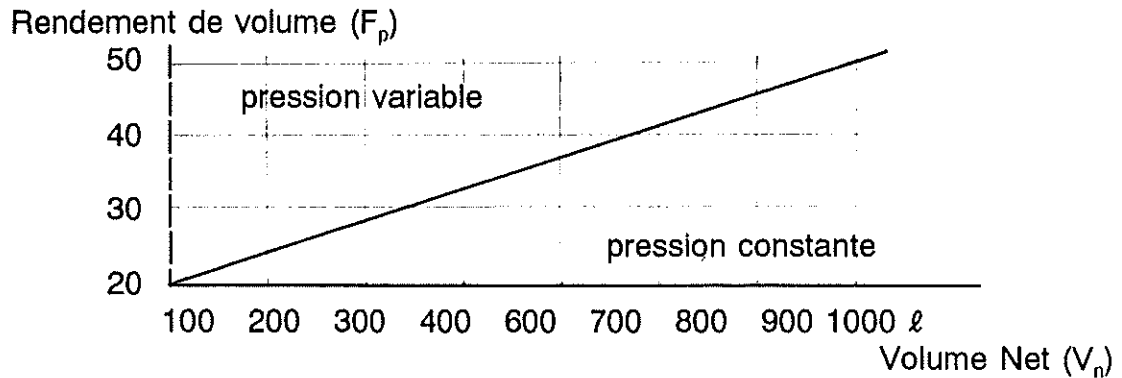
$V_n \leq 100 \ell$  : vases d'expansion à pression variable

(CC105 C5 § 1)

$V_n \geq 1000 \ell$  : vases d'expansion à pression constante

(CC105 C5 § 2)

Dans la zone intermédiaire entre 100 et 1000ℓ, la consigne suivante est d'application:



Remarque:

Si la pression existante dans le système reste basse (<3bar), le système à pression variable est préférable.

Dans les cas suivants, la préférence va à un système à pression constante:

- pression relativement élevée (à cause de la hauteur statique)
- peu de place disponible pour installer le système
- nécessité d'une surveillance à distance du système d'expansion
- une préférence justifiée pour un système à pression constante (p.ex. pour des installations anciennes en état douteux).

## APPENDICE A:

Pour un gaz bien déterminé:

$$\frac{p \cdot V}{T} = \text{constant (Gay-Lussac)}$$

Si l'on suppose que la température de l'air dans le vase est constante, on obtient:

$$p \cdot V = \text{constant (Boyle-Mariotte)}$$

Toutefois, étant donné que l'eau dans la vessie est soumise à des variations de température, la température du gaz de pression dans le vase ne restera pas constante:

$$\text{Expansion} \Leftrightarrow T \uparrow$$

Examinons l'effet de ce phénomène à l'aide d'un exemple simple:

Supposons que la température du gaz de pression augmente jusqu'à 50 °C.

Ce changement de situation est exprimé par la formule suivante:

$$\frac{p_1 \cdot V_1}{(20 + 273)K} = \frac{p_2 \cdot V_2}{(50 + 273)K}$$

Les deux dénominateurs présentent une différence d'environ 10%. Etant donné que  $V_2$  reste constant, la pression  $p_2$  a augmenté d'environ 10%. Cette augmentation de pression, qui est uniquement due à la hausse de température du gaz de pression dans le vase d'expansion, est négligée à tort.

Pour déterminer le volume d'expansion dans un régime normal de 90°/70°C, on prendrait, normalement, le coefficient de la température moyenne maximale, soit 2,9% à 80°C.

Pour tenir compte du phénomène susmentionné, on prend toutefois le coefficient d'expansion de la température de départ, à savoir 3,55% à 90°C. Ainsi, on tient compte dans le calcul d'un volume d'expansion physique  $V_{ep}$  qui est supérieur d'environ 20% au volume réel.

Le vase d'expansion calculé de cette façon sera donc environ 20% plus grand que celui que l'on aurait calculé en tenant compte du coefficient d'expansion de la température moyenne maximale.

On tient donc implicitement compte, et de façon très simple, du volume supplémentaire dont on a besoin pour compenser une augmentation de pression indésirée suite au réchauffement du gaz de pression.

APPENDICE B:

- Il convient de respecter le NPSH (Net Positive Suction Height = hauteur d'aspiration nette) d'une pompe de circulation pour éviter des phénomènes de cavitation. La pression au droit du côté aspiration d'une pompe de circulation ( $P_{circ}$ ) doit donc à tout moment être supérieure à la valeur NPSH.
- Il convient de respecter la pression de service minimale d'une chaudière pour éviter que la chaudière ne soit exposée à des conditions de fonctionnement anormales. En effet, la température de la paroi de chaudière du côté du foyer est beaucoup plus élevée que la température de départ de l'eau vers l'installation. Si la pression est trop basse dans la chaudière, des phénomènes de bouillonnement peuvent se produire localement avec, comme conséquence directe, des bruits de chaudière et, indirectement, des dégâts à la chaudière. La pression à hauteur de la chaudière ( $P_{ch}$ ) doit donc à tout moment être supérieure à la pression de service minimale de celle-ci.

Ces prescriptions sont évidemment surtout importantes pour les installations où la chaudière et la pompe de circulation peuvent fonctionner à basse pression. Un exemple typique de ce genre d'installations sont lesdites installations en toiture ou les systèmes à un seul niveau. Etant donné que la colonne d'eau ( $p_n$ ) est égale à 0 dans de tels systèmes, la pression de gonflage ( $p_g$ ) du système d'expansion ne devrait normalement s'élever qu'à 0,5 bar (idem pour  $p_i$ , en cas de système d'expansion à pression constante)

Si la pression restante à hauteur de la chaudière ou de la pompe de circulation est suffisamment élevée, la valeur 0,5 bar peut suffire pour  $p_g$  (ou  $p_i$ ).

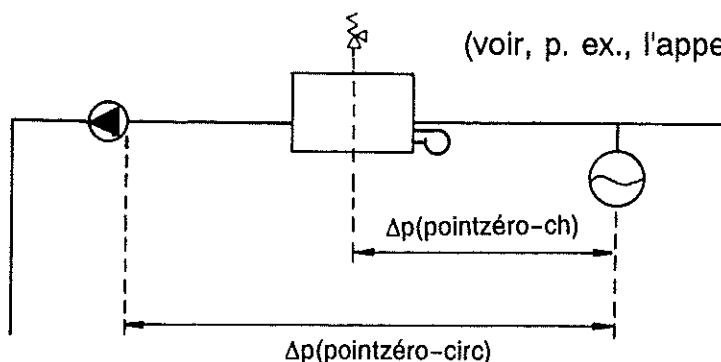
Si ce n'est pas le cas, il faudra choisir une pression proportionnellement plus élevée pour  $p_g$  (ou  $p_i$ ).

$$p_g \geq p_{circ} \pm \Delta p(\text{pointzéro-circ})$$

(voir, p. ex., l'appendice E 4)

$$p_g \geq p_{ch} \pm \Delta p(\text{pointzéro-ch})$$

(voir, p. ex., l'appendice E 3)



APPENDICE C:

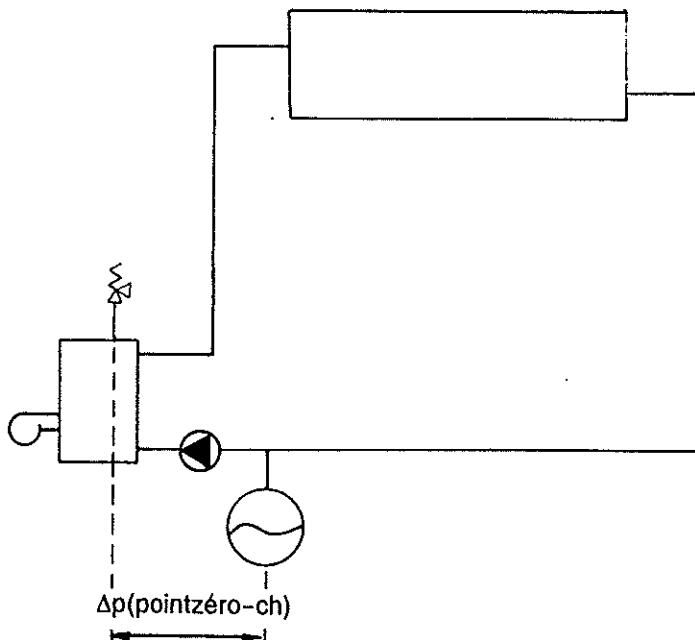
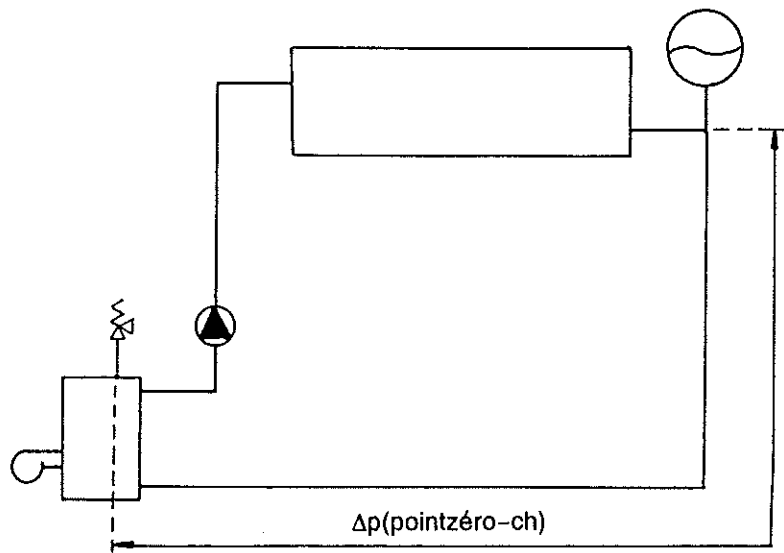
Il peut arriver qu'il y ait une différence de pression significative entre la chaudière (ch), où les soupapes de sécurité sont montées, et le point de raccordement du système d'expansion (pointzéro).

Cette différence de pression peut être due à une différence de colonne d'eau, à des pertes dans la conduite, aux pompes, etc...

Il faut bien tenir compte de ce phénomène:

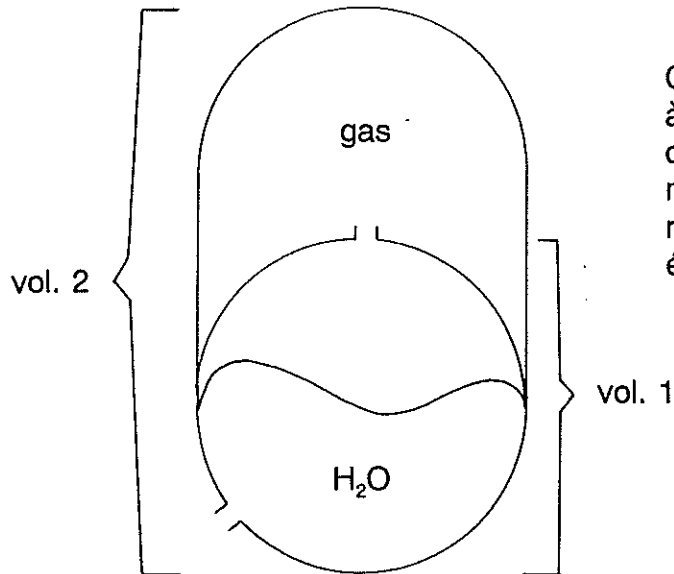
$$p_m = p_s \pm \Delta p(\text{pointzéro}-\text{ch})$$

(voir, p. ex., l'appendice E 1)



APPENDICE D:

Certains vases d'expansion ont, en raison de leur construction, un rendement de volume limité.



Ce vase d'expansion contient, à l'intérieur, une paroi perforée qui limite l'expansion de la membrane. Par conséquent, le rendement de volume est également limité.

Avec ces vases, il est impossible que le rendement de volume soit supérieur au rapport suivant:

$$F_p \leq \frac{\text{volume 1}}{\text{volume 2}}$$

## APPENDICE E:

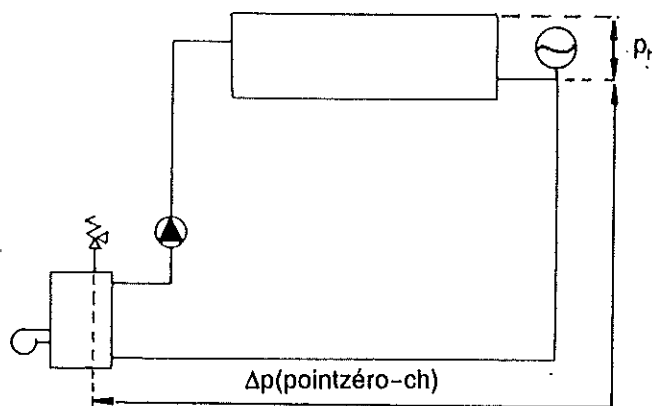
Exemples particuliers:

- 1) vase d'expansion au point le plus élevé alors que la chaudière se trouve en bas:

Données de base:

- Contenu en eau de l'installation  $C_1 = 200\ell$
- Régime de température:  $90/70^\circ\text{C}$
- Pression d'ouverture soupape de sécurité:  $p_s = 3\text{bar}$
- Hauteur de la colonne d'eau:  $p_h = 1\text{ m} = 0,1\text{ bar}$
- Différence de pression statique entre le point zéro et la chaudière  $0,7\text{ bar}$
- Différence de pression dynamique entre ... idem  $0,2\text{ bar}$
- Différence de pression totale à prendre en compte entre le point zéro et la chaudière  $0,7\text{ bar}$   
(en effet, la baisse de pression que la pompe engendrera dans la chaudière dans cette position, quand elle démarre, ne peut pas être prise en compte; en cas d'arrêt de la pompe, la pression sur la soupape de sécurité augmenterait au-dessus de la valeur prévue)

Schéma simplifié de cette installation:



$$\begin{aligned}\text{Calcul } p_m &= p_s \pm \Delta p(\text{point zéro-ch}) \\ &= 3\text{ bar} - 0,7\text{ bar} \\ &= 2,3\text{ bar}\end{aligned}$$

### CALCUL VOLUME D'EXPANSION:

Contenu du système (calculé)	:	200	[ℓ]	$C_i$
(estimé : $\text{kW} \times \frac{\text{ℓ}}{\text{kWh}}$ )				
Coefficient d'expansion à 30 °C	: x	3,55	[%]	$x_{c_0}$
<hr/>				
Volume d'expansion physique	:	7,1	[ℓ]	$=V_{ep}$
1% réserve ( $C_i \times 0,01$ )	: +	2	[ℓ]	$+R_t$
<hr/>				
VOLUME NET	:	9,1	[ℓ]	$=V_n$

### CALCUL VASE D'EXPANSION:

Pression gonflage	=	colonne d'eau $p_n = \frac{h \text{ [m]}}{10} + 0,3 \text{ bar}$ ( $p_g = \text{min } 0,5 \text{ bar}$ )	(attention à la NPSH du circulateur et à la pression de service minimale de la chaudière: adapter éventuellement $p_n$ )
	=	$\frac{10}{10} \text{ [m]} + 0,3 \text{ bar}$	= 0,5 [bar] = $p_g$
Pression finale	=	pression maximale $p_m - 0,5 \text{ bar}$	(att. à $\Delta p$ entre point zéro et chaudière, s.i. d'une différence de hauteur ou d'un circulateur présent p.ex.; prendre en compte la différence entre $p_m$ et $p_n$ ) !
	=	$(p_m = 3 \text{ bar} - 0,7 \text{ bar} = 2,3 \text{ bar}) - 0,5 \text{ bar}$	= 1,8 [bar] = $p_r$
Rendement de volume	=	$\frac{(p_r+1)-(p_g+1)}{(p_r+1)} = \frac{(1,8+1)-(0,5+1)}{(1,8+1)}$	= 0,464 = $F_p$
Volume Total Théorique	=	$\frac{\text{VOLUME NET } V_n}{\text{rendement volume } F_p} = \frac{9,1}{0,464}$	= 19,6 [ℓ] = $V_{tt}$

### CHOIX DU MATERIEL:

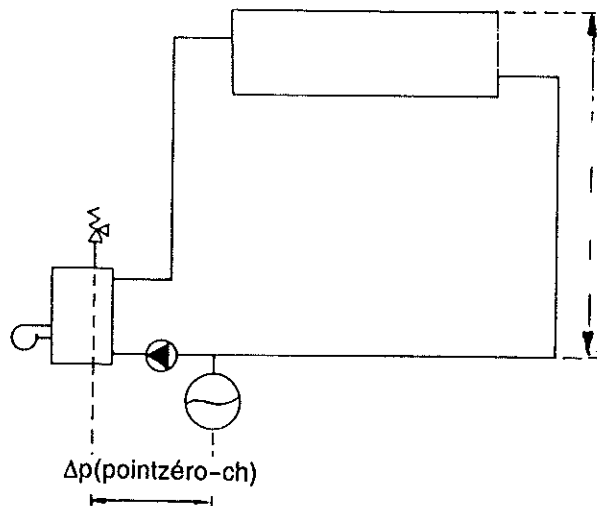
Volume Total Réel	=	1 x vase d'expansion type 25	= $V_{tr}$
Réserve réelle	=	$(V_{tr} \times F_p) - V_{ep} = (25 \times 0,464) - 7,1$	= 4,5 [ℓ] = $R_r$
Pression initiale	=	$\frac{V_{tr} \times (p_g + 1)}{V_{tr} - R_r} - 1 = \frac{25 \times (0,5 + 1)}{25 - 4,5} - 1$	= 0,8 [bar] = $p_i$

2) pompe de circulation dans la conduite retour entre le vase d'expansion et la chaudière:

Données de base:

- Contenu en eau de l'installation:  $C_i = 2000\ell$
- Régime de température:  $90/70\text{ °C}$
- Pression d'ouverture soupape de sécurité:  $p_s = 3\text{bar}$
- Hauteur de la colonne d'eau:  $p_h = 7\text{ m} = 0,7\text{ bar}$
- Différence de pression dynamique (pompe) entre le point zéro et la chaudière  $0,4\text{ bar}$
- Différence de pression totale entre le point zéro et la chaudière  $0,4\text{ bar}$

Schéma simplifié de cette installation:



$$\begin{aligned}\text{Calcul } p_m &= p_s \pm \Delta p(\text{point zéro-ch}) \\ &= 3\text{ bar} - 0,4\text{ bar} \\ &= 2,6\text{ bar}\end{aligned}$$

### CALCUL VOLUME D'EXPANSION:

Contenu du système (calculé)	:	2000	[ℓ]	$C_i$
(estimé : Coefficient d'expansion à 90 °C	:	3,55	[%]	$x_{C_e}$
<hr/>				
Volume d'expansion physique	:	71	[ℓ]	$=V_{ep}$
1% réserve ( $C_i \times 0,01$ )	:	20	[ℓ]	$+R_t$
<hr/>				
VOLUME NET	:	91	[ℓ]	$=V_n$

### CALCUL VASE D'EXPANSION:

Pression gonflage = colonne d'eau  $p_h (= \frac{h [m]}{10}) + 0,3 \text{ bar}$  ( $p_g = \min 0,5 \text{ bar}$ )  
 (attention à la NPSH du circulateur et à la pression de service minimale de la chaudière: adapter éventuellement  $p_g$ )

$$= \frac{7 [m]}{10} [\text{bar}] + 0,3 \text{ bar} = 1 [\text{bar}] = p_g$$

Pression finale = pression maximale  $p_m - 0,5 \text{ bar}$   
 ( $p_m = 3 \text{ bar} - 0,4 \text{ bar} = 2,6 \text{ bar}$ ) (att. à  $\Delta p$  entre point zéro et chaudière, s.i. d'une différence de hauteur ou d'un circulateur présent p.ex.; prendre en compte la différence entre  $p_m$  et  $p_i$ ) !

$$= 2,6 [\text{bar}] - 0,5 \text{ bar} = 2,1 [\text{bar}] = p_f$$

Rendement de volume =  $\frac{(p_f+1)-(p_g+1)}{(p_f+1)} = \frac{(2,1+1)-(1+1)}{(2,1+1)} = 0,355 = F_p$

Volume Total Théorique =  $\frac{\text{VOLUME NET } V_n}{\text{rendement volume } F_p} = \frac{91}{0,355} = 256 [\text{ℓ}] = V_{tt}$

### CHOIX DU MATERIEL:

Volume Total Réel = 1 x vase d'expansion type 300 =  $V_{tr}$

Réserve réelle =  $(V_{tr} \times F_p) - V_{ep} = (300 \times 0,355) - 71 = 35,5 [\text{ℓ}] = R_r$

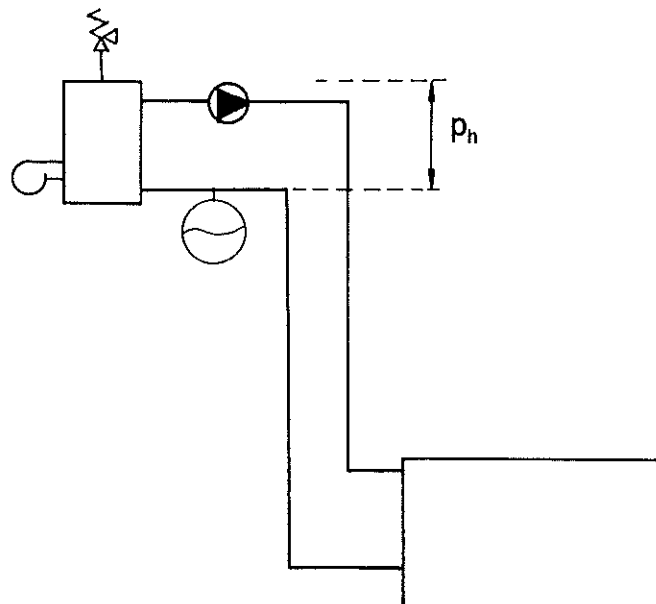
Pression initiale =  $\frac{V_{tr} \times (p_g + 1)}{V_{tr} - R_r} - 1 = \frac{300 \times (1 + 1)}{300 - 35,5} - 1 = 1,3 [\text{bar}] = p_i$

3) Installation de la chaudière en toiture : respecter la pression de service minimale de la chaudière

Données de base:

- Contenu en eau de l'installation:  $C_i = 2000\ell$
- Régime de température:  $90/70^\circ\text{C}$
- Pression d'ouverture soupape de sécurité:  $p_s = 3\text{bar}$
- Hauteur de la colonne d'eau:  $p_h = 1\text{ m} = 0,1\text{ bar}$
- Pression de service minimale de la chaudière  $1\text{ bar}$

Schéma simplifié de cette installation:



$$\begin{aligned}\text{Calcul } p_g &= p_{ch} \text{ +/- } \Delta p(\text{point zéro-ch}) \\ &= 1\text{ bar +/- } 0\text{ bar} \\ &= 1\text{ bar}\end{aligned}$$

### CALCUL VOLUME D'EXPANSION:

Contenu du système (calculé)	:	2000	[ℓ]	$C_i$
(estimé : kW x ℓ/kW)	:			
Coefficient d'expansion à 90 °C	: x	3,55	[%]	$x_{C_0}$
<hr/>				
Volume d'expansion physique	:	71	[ℓ]	$=V_{ep}$
1% réserve ( $C_i \times 0,01$ )	: +	20	[ℓ]	$+R_t$
<hr/>				
VOLUME NET	:	91	[ℓ]	$=V_n$

### CALCUL VASE D'EXPANSION:

Pression gonflage = colonne d'eau  $p_h = \frac{h \text{ (m)}}{10} + 0,3 \text{ bar}$  ( $p_g = \text{min } 0,5 \text{ bar}$ )

(attention à la NPSH du circulateur et à la pression de service minimale de la chaudière: adapter éventuellement  $p_s$ )

$\frac{1 \text{ (m)}}{10} \text{ [bar]} + 0,3 \text{ bar} = 1 \text{ [bar]} = p_g$

Pression finale = pression maximale  $p_m - 0,5 \text{ bar}$

(att. à  $\Delta p$  entre pointzéro et chaudière, s.i. d'une différence de hauteur ou d'un circulateur présent p.ex.; prendre en compte la différence entre  $p_m$  et  $p_s$ )

$= 3 \text{ [bar]} - 0,5 \text{ bar} = 2,5 \text{ [bar]} = p_f$

Rendement de volume =  $\frac{(p_f+1)-(p_g+1)}{(p_f+1)} = \frac{(2,5+1)-(1+1)}{(2,5+1)} = 0,428 = F_p$

Volume Total Théorique =  $\frac{\text{VOLUME NET } V_n}{\text{rendement volume } F_p} = \frac{91}{0,428} = 212,6 \text{ [ℓ]} = V_{tt}$

### CHOIX DU MATERIEL:

Volume Total Réel = 1 x vase d'expansion type 300 =  $V_{tr}$

Réserve réelle =  $(V_{tr} \times F_p) - V_{ep} = (300 \times 0,428) - 71 = 57,4 \text{ [ℓ]} = R_r$

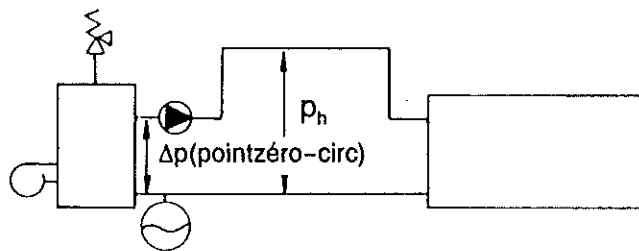
Pression initiale =  $\frac{V_{tr} \times (p_g + 1)}{V_{tr} - R_r} - 1 = \frac{300 \times (1 + 1)}{300 - 57,4} - 1 = 1,5 \text{ [bar]} = p_i$

4) Construction basse à un seul niveau: respecter la NPSH de la pompe

Données de base:

- Contenu en eau de l'installation:  $C_i = 2000\ell$
- Régime de température:  $90/70\text{ }^\circ\text{C}$
- Pression d'ouverture soupape de sécurité:  $p_s = 3\text{ bar}$
- Hauteur de la colonne d'eau:  $p_h = 2\text{ m} = 0,2\text{ bar}$
- Différence de pression dynamique (perte dans la conduite) entre le point zéro et la pompe de circulation  $0,3\text{ bar}$
- Différence de pression statique entre le point zéro et la pompe de circulation  $0,1\text{ bar}$
- NPSH de la pompe de circulation  $0,9\text{ bar}$

Schéma simplifié de cette installation:



$$\begin{aligned}\text{Calcul } p_0 &= p_{\text{circ}} \pm \Delta p(\text{point zéro-circ}) \\ &= 0,9\text{ bar} + 0,3\text{ bar} + 0,1\text{ bar} \\ &= 1,3\text{ bar}\end{aligned}$$

### CALCUL VOLUME D'EXPANSION:

Contenu du système (calculé)	:	2.000	[ℓ]	$C_1$
(estimé : $\text{kW} \times \frac{\text{ℓ/kW}}{10}$ )				
Coefficient d'expansion à 90 °C	: x	3,55	[%]	$x_{C_0}$
<hr/>				
Volume d'expansion physique	:	71	[ℓ]	$=V_{ep}$
1% réserve ( $C_1 \times 0,01$ )	: +	20	[ℓ]	$+R_1$
<hr/>				
VOLUME NET	:	91	[ℓ]	$=V_n$

### CALCUL VASE D'EXPANSION:

Pression gonflage	= colonne d'eau $p_n (= \frac{h \text{ [m]}}{10}) + 0,3 \text{ bar}$ ( $p_g = \text{min } 0,5 \text{ bar}$ )	(attention à la NPSH du circulateur et à la pression de service minimale de la chaudière: adapter éventuellement $p_s$ )
	$= 0,9 \text{ bar} + 0,3 \text{ bar} + 0,1 \text{ bar}$	!
	$= \frac{\text{--- [m]}}{10} + 0,3 \text{ bar} = 1,3 \text{ [bar]} = p_g$	
Pression finale	= pression maximale $p_m - 0,5 \text{ bar}$	(att. à $\Delta p$ entre pointzéro et chaudière, s.i. d'une différence de hauteur ou d'un circulateur présent p.ex.; prendre en compte la différence entre $p_m$ et $p_s$ )
	$= 3 \text{ [bar]} - 0,5 \text{ bar} = 2,5 \text{ [bar]} = p_f$	
Rendement de volume	$= \frac{(p_f+1)-(p_g+1)}{(p_f+1)} = \frac{(2,5+1)-(1,3+1)}{(2,5+1)} = 0,343 = F_p$	
Volume Total Théorique	$= \frac{\text{VOLUME NET } V_n}{\text{rendement volume } F_p} = \frac{91}{0,343} = 265 \text{ [ℓ]} = V_{tt}$	

### CHOIX DU MATERIEL:

Volume Total Réel	$1 \times \text{vase d'expansion type } 300 = V_{tr}$
Réserve réelle	$= (V_{tr} \times F_p) - V_{ep} = (300 \times 0,343) - 71 = 32 \text{ [ℓ]} = R_r$
Pression initiale	$= \frac{V_{tr} \times (p_g + 1)}{V_{tr} - R_r} - 1 = \frac{300 \times (1,3 + 1)}{300 - 32} - 1 = 1,6 \text{ [bar]} = p_i$

## APPENDICE F:

En cas de système d'expansion à pression constante, la pression de service de l'ensemble du système ne variera pas, sauf dans les cas suivants:

- 1) lorsque le vase d'expansion s'est vidé. La pression disparaît soudainement (idem pour les vases d'expansion à pression variable) parce que le gaz de pression dans le vase n'est plus en contact avec l'eau de l'installation.
- 2) lorsque le vase d'expansion est entièrement rempli d'eau. La pression monte, dans ce cas, très rapidement parce qu'il n'y a plus de gaz de pression (différence fondamentale avec l'autre système à pression variable)

Dans le cas d'un système d'expansion à pression variable, le manomètre de l'installation est un instrument qui indique dans quelle mesure le vase d'expansion est rempli d'eau (on mesure, en effet, la compression du gaz de pression). Etant donné qu'à pression constante, ce n'est pas le cas, le manomètre ne peut renseigner sur la quantité d'eau dans le vase d'expansion.

Il est donc très important, avec ce système, de disposer d'une indication de contenu en eau suffisamment précise. Pour que l'ensemble fonctionne bien, on peut l'équiper de zones d'alarme, c'est-à-dire d'une alarme quand:

- le vase d'expansion est presque vide.
- le vase d'expansion est presque entièrement rempli.

Par convention, on détermine ces zones d'alarme à 10% du contenu total, c'est-à-dire:

- alarme "Trop peu d'eau" pour un vase d'expansion qui ne contient plus que 10% d'eau,
- alarme "Trop d'eau", pour un vase d'expansion qui est rempli à plus de 90%.