



PROGRAMME D'ACCOMPAGNEMENT DES PROFESSIONNELS
« Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »

www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr

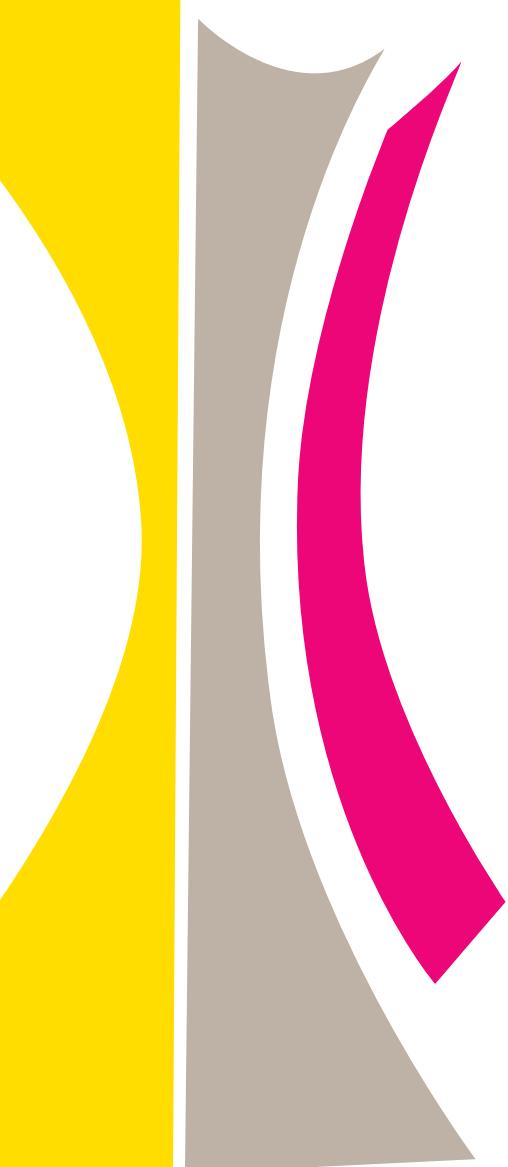
GUIDE

CIRCUITS HYDRAULIQUES

COMPOSANTS ET RÈGLES DE CONCEPTION

SEPTEMBRE 2015

NEUF-RENOVATION



ÉDITO

Le Grenelle Environnement a fixé pour les bâtiments neufs et existants des objectifs ambitieux en matière d'économie et de production d'énergie. Le secteur du bâtiment est engagé dans une mutation de très grande ampleur qui l'oblige à une qualité de réalisation fondée sur de nouvelles règles de construction.

Le programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » a pour mission, à la demande des Pouvoirs Publics, d'accompagner les quelque 370 000 entreprises et artisans du secteur du bâtiment et l'ensemble des acteurs de la filière dans la réalisation de ces objectifs.

Sous l'impulsion de la CAPEB et de la FFB, de l'AQC, de la COPREC Construction et du CSTB, les acteurs de la construction se sont rassemblés pour définir collectivement ce programme. Financé dans le cadre du dispositif des certificats d'économies d'énergie grâce à des contributions importantes d'EDF (15 millions d'euros) et de GDF SUEZ (5 millions d'euros), ce programme vise, en particulier, à mettre à jour les règles de l'art en vigueur aujourd'hui et à en proposer de nouvelles, notamment pour ce qui concerne les travaux de rénovation. Ces nouveaux textes de référence destinés à alimenter le processus normatif classique seront opérationnels et reconnus par les assureurs dès leur approbation ; ils serviront aussi à l'établissement de manuels de formation.

Le succès du programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » repose sur un vaste effort de formation initiale et continue afin de renforcer la compétence des entreprises et artisans sur ces nouvelles techniques et ces nouvelles façons de faire. Dotées des outils nécessaires, les organisations professionnelles auront à cœur d'aider et d'inciter à la formation de tous.

Les professionnels ont besoin rapidement de ces outils et « règles du jeu » pour « réussir » le Grenelle Environnement.

Alain MAUGARD

Président du Comité de pilotage du Programme
« Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »
Président de QUALIBAT



PROGRAMME D'ACCOMPAGNEMENT DES PROFESSIONNELS
« Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »

Ce programme est une application du Grenelle Environnement. Il vise à revoir l'ensemble des règles de construction, afin de réaliser des économies d'énergie dans le bâtiment et de réduire les émissions de gaz à effet de serre.

www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr



AVANT- PROPOS

Afin de répondre au besoin d'accompagnement des professionnels du bâtiment pour atteindre les objectifs ambitieux du Grenelle Environnement, le programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » a prévu d'élaborer les documents suivants :

Les Recommandations Professionnelles « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont des documents techniques de référence, préfigurant un avant-projet NF DTU, sur une solution technique clé améliorant les performances énergétiques des bâtiments. Leur vocation est d'alimenter soit la révision d'un NF DTU aujourd'hui en vigueur, soit la rédaction d'un nouveau NF DTU. Ces nouveaux textes de référence seront reconnus par les assureurs dès leur approbation.

Les Guides « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont des documents techniques sur une solution technique innovante améliorant les performances énergétiques des bâtiments. Leur objectif est de donner aux professionnels de la filière les règles à suivre pour assurer une bonne conception, ainsi qu'une bonne mise en œuvre et réaliser une maintenance de la solution technique considérée. Ils présentent les conditions techniques minimales à respecter.

Les Calepins de chantier « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont des mémentos destinés aux personnels de chantier, qui illustrent les bonnes pratiques d'exécution et les dispositions essentielles des Recommandations Professionnelles et des Guides « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 ».

Les Rapports « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » présentent les résultats soit d'une étude conduite dans le cadre du programme, soit d'essais réalisés pour mener à bien la rédaction de Recommandations Professionnelles ou de Guides.

Les Recommandations Pédagogiques « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont des documents destinés à alimenter la révision des référentiels de formation continue et initiale. Elles se basent sur les éléments nouveaux et/ou essentiels contenus dans les Recommandations Professionnelles ou Guides produits par le programme.

L'ensemble des productions du programme d'accompagnement des professionnels « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » est mis gratuitement à disposition des acteurs de la filière sur le site Internet du programme : <http://www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr>



Sommaire

Présentation du guide	6
1 - Les circulateurs.....	9
1.1. • Critères de choix des circulateurs	9
1.2. • Technologies des circulateurs.....	9
1.3. • Indications de montage	11
1.4. • Point de fonctionnement d'un circulateur.....	11
1.5. • Les circulateurs à vitesse variable	13
1.6. • Phénomène de cavitation (NPSH).....	16
2 - Les vannes de régulation.....	18
2.1. • Les vannes à deux et trois voies	18
2.2. • Les montages des vannes de régulation	20
2.3. • Choix et dimensionnement d'une vanne de régulation	23
2.4. • Les robinets thermostatiques	30
3 - Les régulateurs de pression différentielle et de débit	32
3.1. • Les régulateurs de pression différentielle.....	32
3.2. • Les régulateurs de débit.....	35
4 - Les canalisations	36
4.1. • Critères de choix des canalisations.....	36
4.2. • Dimensionnement des canalisations	37
4.3. • Calorifuge des canalisations	41
5 - Les dispositifs de découplage	46
5.1. • Les règles communes	47
5.2. • Bipasse lisse	48
5.3. • Bouteille de découplage.....	49
5.4. • Collecteur-distributeur en court-circuit	52
6 - Les volumes tampons.....	54
6.1. • Les volumes tampons à deux piquages.....	55
6.2. • Les volumes tampons à quatre piquages.....	57
7 - Les dispositifs d'expansion	60
7.1. • Les vases d'expansion fermés	60
7.2. • Dimensionnement d'un vase d'expansion en chauffage	63
7.3. • Dimensionnement d'un vase d'expansion en solaire	68
7.4. • Les groupes de maintien de pression.....	70

8 - L'équilibrage hydraulique.....	72
8.1. • Objectif et principe de l'équilibrage.....	72
8.2. • Les organes d'équilibrage.....	74
8.3. • La procédure d'équilibrage	76
9 - Les distributions à débit variable.....	80
9.1. • Problématique	80
9.2. • Indicateur de dérives fonctionnelles	81
9.3. • Les solutions	82
10 - Concevoir des circuits optimisés	86
10.1. • Réduire les pertes thermiques.....	86
10.2. • Réduire les débits.....	88
11 - Les schémas élémentaires	92
11.1. • Produire par plusieurs générateurs en parallèle disposant d'un circulateur individuel en série	93
11.2. • Produire par plusieurs générateurs en parallèle disposant d'un circulateur commun	94
11.3. • Réguler la température au départ d'une installation de chauffage	95
11.4. • Réguler la puissance d'un émetteur par variation de débit	96
11.5. • Produire l'eau chaude sanitaire avec un ballon échangeur.....	97
11.6. • Produire l'eau chaude sanitaire en instantané	98
11.7. • Produire l'eau chaude sanitaire par un échangeur associé à un stockage	98
12 - Annexes.....	100
12.1. • Conversion des unités	100
12.2. • Symboles utilisés	101
12.3. • Lois fondamentales.....	101
12.4. • Caractéristiques des circulateurs.....	102
12.5. • Méthode des Z	104
12.6. • Caractéristiques des échangeurs.....	107
12.7. • Calcul des pertes de charge	113
12.8. • Les architectures de distribution.....	120
13 - Références.....	124
13.1. • Références réglementaires	124
13.2. • Références normatives	125
13.3. • Autres documents	127



Présentation du guide



Ce guide a pour objectif de rassembler et mettre à jour les indications éparses et les règles de l'art de l'hydraulique, à la lumière des contraintes actuelles pour l'efficacité énergétique.

Il fournit les indications de conception et de choix des équipements pour améliorer l'efficacité énergétique des réseaux : réduction des consommations des circulateurs, qualités des régulations (vannes, autorité, équilibrage...), optimisation du fonctionnement.

Les solutions simples peuvent être garantes de ces qualités, à condition qu'elles soient mises en œuvre en considérant les contraintes spécifiques des installations. D'autre part, la résolution des problèmes liés à l'hydraulique doit résulter d'une approche globale ; ceci dans le but de tenir compte des interactions avec les domaines de la thermique et de l'automatique.

Il s'agit d'établir des spécifications s'appliquant à tous types de réseaux d'eau fermés, c'est-à-dire traitant aussi bien du chauffage que de la production d'eau chaude sanitaire ou d'eau glacée. Elles portent tant sur le neuf que sur la rénovation. Elles couvrent les secteurs résidentiels et tertiaires et concernent les installations individuelles et collectives.

Concrètement, le guide est structuré en quatre parties ([Figure 1](#)) :

- Les composants hydrauliques ;
- La conception des installations ;
- Les schémas élémentaires ;
- Les annexes présentant les fondamentaux de l'hydraulique et les références bibliographiques.



Les chapitres 1 à 7 listent les composants principaux des circuits hydrauliques en rappelant :

- Leur fonction ;
- Les technologies présentes sur le marché ;
- Les indications de choix et de dimensionnement ;
- Les indications d'implantation sur le circuit.

Les tâches de pose et d'entretien ne sont pas l'objet de ce document.

Les composants traités sont ceux interfacés entre le (ou les) générateur (s) et les émetteurs.

Les chapitres 8 à 10, en complément des éléments de choix et de dimensionnement des composants des circuits hydrauliques, propose de traiter de la conception globale des réseaux en insistant sur l'équilibrage et sur les particularités de conception des réseaux à débit variable. Les points d'optimisation des circuits en termes de pertes thermiques et de réduction des consommations des circulateurs sont énoncés.

Le chapitre 11 présente une bibliothèque de « schémas élémentaires ». Ils sont constitués d'une association de composants, ils répondent à une fonction particulière. Ils sont caractérisés par des contraintes spécifiques.

Les circuits de chauffage, d'eau chaude sanitaire, de climatisation sont construits par assemblage de ces « briques ».

Chaque schéma élémentaire fait l'objet d'une description de son fonctionnement lié à la régulation associée. Des exemples d'applications sont fournis.

Le chapitre 12 a pour objet de fournir les notions fondamentales de base relatives aux réseaux hydrauliques fermés : caractéristiques des réseaux et des circulateurs, notions de pertes de charge, architectures des distributions, lois fondamentales et méthode des Z.

Il présente les éléments de théorie utiles pour les chapitres précédents.

Sont également indiqués : les symboles des composants hydrauliques utilisés dans le document et les unités des grandeurs principales.

Le chapitre 13 constitue la bibliographie. Il fournit les références réglementaires et normatives ainsi qu'une liste d'ouvrages permettant d'en savoir plus.

Chapitres 1 à 7 – LES COMPOSANTS HYDRAULIQUES : des indications pour le choix et le dimensionnement des circulateurs, vannes de régulation, régulateurs de pression différentielle et de débit, canalisations, dispositifs de découplage, volumes tampons, dispositifs d'expansion.

Chapitres 8 à 10 – LA CONCEPTION DES INSTALLATIONS : des indications pour la maîtrise des réseaux à débit variable, l'équilibrage et l'optimisation des circuits.

Chapitre 11 – LES SCHÉMAS ÉLÉMENTAIRES : des schémas de base, associant des composants, pour répondre à des fonctions élémentaires.

Chapitre 12 – ANNEXES : des rappels des éléments fondamentaux de l'hydraulique

Chapitre 13 – BIBLIOGRAPHIE : les textes réglementaires et normes, les ouvrages de référence.

Le guide proposé se veut explicatif, voire pédagogique, et largement illustré.

Il s'adresse, de par son contenu, aux bureaux d'études et entreprises chargés de la conception et du dimensionnement de circuits hydrauliques. Ce document de référence est également utile pour les besoins de formation, tant initiale que continue, et pour le personnel d'exploitation des installations de génie climatique.

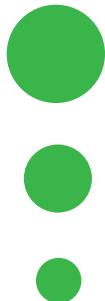


Les indications de ce guide ne sauraient se substituer aux spécifications des fabricants des composants décrits.



1

Les circulateurs



1.1. • Critères de choix des circulateurs

Le choix d'un circulateur doit tenir compte de l'application à laquelle il est destiné.

Un circulateur est en effet caractérisé par une plage de température du fluide et par une plage de conditions d'ambiance. Ainsi, en solaire, la température maximale à considérer est d'environ 110°C. En eau glaçée, la température minimale de fluide doit être connue.

Pour un circulateur placé sur un circuit d'eau chaude sanitaire, les matériaux en contact avec l'eau sanitaire ne doivent pas être susceptibles de dégrader la qualité de l'eau. Le corps des circulateurs dédiés à cette application est en général en bronze ou en acier inoxydable. Les circulateurs véhiculant de l'eau potable (eau froide ou eau chaude sanitaire) doivent obligatoirement disposer d'une certification ACS (Attestation de Conformité Sanitaire).

Les applications sont généralement spécifiées dans les notices des fabricants.

La pression maximale de service et la tension d'alimentation font partie des caractéristiques des circulateurs.

1.2. • Technologies des circulateurs

Les installations de génie climatique sont le plus couramment équipées de circulateurs dits « en ligne », mis en place dans l'axe des canalisations.

Ils sont fabriqués en version simple ou double. Les circulateurs double du commerce sont généralement prévus pour un fonctionnement en



permutation (périodique ou en cas de défaillance d'un circulateur). Ils peuvent aussi fonctionner en parallèle si nécessaire.

Des circulateurs sur socle sont utilisés pour les installations de plus fortes puissances.

La position relative du moteur par rapport au corps du circulateur permet de distinguer deux catégories de circulateurs en ligne : les circulateurs à rotor noyé (le rotor est refroidi par l'eau du circuit) et les circulateurs à rotor sec (le moteur est dissocié du corps du circulateur et est ventilé par l'air).

Les circulateurs sont à vitesse fixe (choisie par commutation manuelle parmi plusieurs vitesses) ou à vitesse variable par variation de la fréquence d'alimentation du moteur (cf. 1.5).

Depuis le 1^{er} janvier 2013, les circulateurs sans presse étoupe (à rotor noyé) mis en vente doivent respecter une valeur limite d'IEE (Indice d'Efficacité Énergétique) de 0,27. Le seuil est abaissé à 0,23 à partir du 1^{er} août 2015.

Cette exigence est imposée par le Règlement européen n°641/2009 modifié concernant les circulateurs sans presse étoupe portant application de la Directive 2005/32/CE EuP (Energy using products).

Ne sont pas concernés les circulateurs pour l'eau potable, pour le bouclage d'eau chaude sanitaire en particulier.

Pour les circulateurs intégrés aux produits (chaudières, préparateurs d'eau chaude sanitaire...) et les circulateurs conçus pour les circuits primaires des installations solaires thermiques et des pompes à chaleur, la date de mise en application est le 1^{er} août 2015.

Les performances imposées ont généralisé les circulateurs à **moteurs synchrones à aimants permanents**. Leurs consommations sont réduites par rapport à la technologie des moteurs asynchrones. On parle de circulateurs à « haut rendement ».

Note

La valeur d'indice d'efficacité énergétique (IEE) doit figurer sur la plaque signalétique du circulateur ainsi que dans la notice technique.

Les circulateurs sont caractérisées par leur **puissance électrique absorbée**, référencée P1 sur les notices techniques. La puissance électrique variant selon le débit (cf. 12.4), la valeur de P1 est donnée pour un ou plusieurs points de fonctionnement à la vitesse minimale et à la vitesse maximale, par exemple, ou sous la forme de courbes pour les circulateurs à vitesse variable.

1.3. • Indications de montage

Les circulateurs doivent être mis en place selon les indications du fabricant :

- respect du sens de circulation indiqué par une flèche sur le corps ;
- respect du montage du moteur (axe horizontal, en général).

Ils ne doivent pas être localisés sous des organes susceptibles de fuir. Par ailleurs, il est conseillé, lorsque cela est possible, de les placer sur le retour des installations pour limiter les pertes thermiques ou les apports et les soumettre à des températures moins extrêmes. A contrario, sur un circuit de chauffage, le circulateur est placé sur le départ, en aval de la vanne à trois voies de régulation, afin de brasser les flux d'eau et d'assurer une mesure satisfaisante de la température de départ.

Des vannes d'isolement sont placées de part et d'autre du circulateur pour faciliter sa dépose.

Les circulateurs à vitesse fixe sont généralement équipées d'un manomètre pour estimer le débit.

Note

Certains fabricants proposent des coquilles isolantes adaptées à leurs circulateurs. Elles sont spécifiques à une application en chauffage ou en eau glacée.

1.4. • Point de fonctionnement d'un circulateur

Un circulateur est déterminé par sa courbe caractéristique d'évolution de la pression différentielle en fonction du débit. Les caractéristiques d'évolution du rendement et de la puissance électrique absorbée sont présentées en annexe (cf. 12.4).

Le point de fonctionnement s'établit à l'intersection de la caractéristique du circulateur et de la caractéristique des pertes de charge du réseau (qui évoluent de façon quadratique en fonction du débit, cf. 12.5), comme le montre la (Figure 1-1).

Le choix d'un circulateur nécessite de connaître :

- le débit à mettre en circulation ;
- la pression différentielle nécessaire.

Le débit est déterminé à partir de la puissance de l'installation et de la chute de température de dimensionnement des émetteurs (cf. 10.2.2) par la formule suivante :



$$q = \frac{P}{1,16 \times \Delta T}$$

Avec :

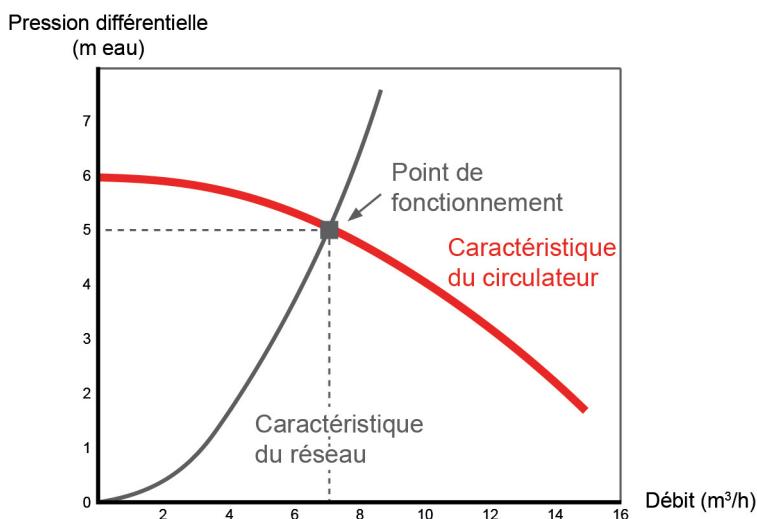
- q : le débit dans l'installation en m^3/h ;
- P : la puissance des émetteurs alimentés par le circulateur en kW ;
- ΔT : la chute de température nominale choisie en K.

La pression différentielle fournie par le circulateur doit être telle qu'elle compense les pertes de charge du circuit desservi le plus défavorisé, c'est-à-dire celui présentant les pertes de charge les plus élevées. Les pertes de charge sont calculées pour le débit nominal de l'installation, selon les indications du chapitre 12.7 (cf. 12.7).

Cette pression différentielle est généralement désignée hauteur manométrique totale (HMT) du circulateur et exprimée en mètre d'eau.

Note

Dans le cas d'eau glycolée (boucle solaire, eau glacée...), les caractéristiques de débit et de pertes de charge sont à corriger en fonction du taux de glycol (cf. 12.7).



▲ Figure 1-1 : Point de fonctionnement d'un circulateur en place sur un réseau

Le circulateur doit être choisi afin d'obtenir un point de fonctionnement localisé en partie centrale de la caractéristique, là où le rendement est maximal et où il fonctionne sans aléas (cavitation, échauffement...).

Les circulateurs à vitesse fixe proposent plusieurs vitesses à sélectionner manuellement.

On constate généralement un surdimensionnement du circulateur, soit par une surestimation des pertes de charge et des débits calculés, soit par le choix d'une caractéristique de circulateur supérieure à celle requise.



Une étude menée par le COSTIC sur 11 installations de chauffage a mis en évidence un surdimensionnement moyen de 2,5 fois le débit suffisant.

Ce surdimensionnement engendre un coût d'achat supérieur et des consommations électriques plus élevées.

Or, un léger sous-dimensionnement n'est au contraire pas néfaste et peut même s'avérer bénéfique. Il toutefois conseillé de se limiter à un sous-débit de l'ordre de 15 % par rapport au débit calculé qui s'accompagne d'une légère diminution de puissance (inférieure à 2 %). Par ailleurs, les calculs étant souvent arrondis par excès (déperditions, débits, pertes de charge...), il est donc inutile de réaliser encore une sélection du circulateur par excès.

Pour un circulateur à vitesse fixe, la vanne d'équilibrage placée en série avec le circulateur permet d'ajuster le point de fonctionnement en ajoutant des pertes de charge.



Lors de la mise en service, le circulateur doit être réglé sur la vitesse à laquelle il a été sélectionné. Les circulateurs fonctionnent trop souvent inutilement à la vitesse maximale.

1.5. • Les circulateurs à vitesse variable

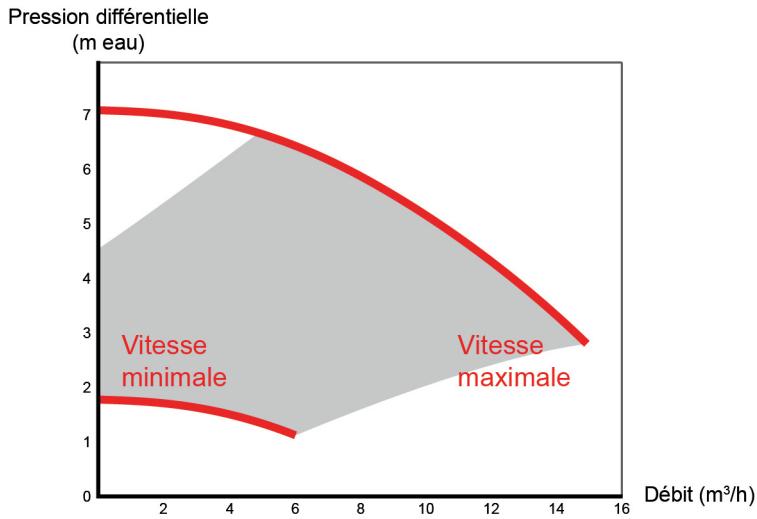
Les circulateurs à vitesse variable sont adaptés aux circuits à débit variable. Ils régulent la pression différentielle face à des variations de pertes de charge du circuit, en réduisant leur vitesse. La réduction de vitesse induit un abaissement des consommations électriques. En théorie, une vitesse divisée par deux engendre une division par huit de la puissance électrique absorbée (la puissance est proportionnelle au cube de la vitesse).

Les circulateurs à vitesse variable sont caractérisés par une zone de fonctionnement entre une vitesse maximale et une vitesse minimale, comme le montre la (Figure 1-2).

Ils doivent faire l'objet d'un dimensionnement sur la base du débit et de la pression différentielle souhaités.

Le point de fonctionnement nominal doit se situer en partie supérieure de la zone grisée afin que la variation de vitesse puisse s'opérer. Il ne doit pas être localisé dans les zones en haut à gauche et en bas à droite pour lesquelles le rendement est faible.

Un débit minimal est généralement imposé par le fabricant, de l'ordre de 10 %.



▲ Figure 1-2 : Zone de fonctionnement d'un circulateur à vitesse variable



Les circulateurs à vitesse variable doivent faire l'objet d'un dimensionnement, au même titre que les circulateurs à vitesse fixe.

Les circulateurs à vitesse variable peuvent être paramétrés selon deux modes courants :

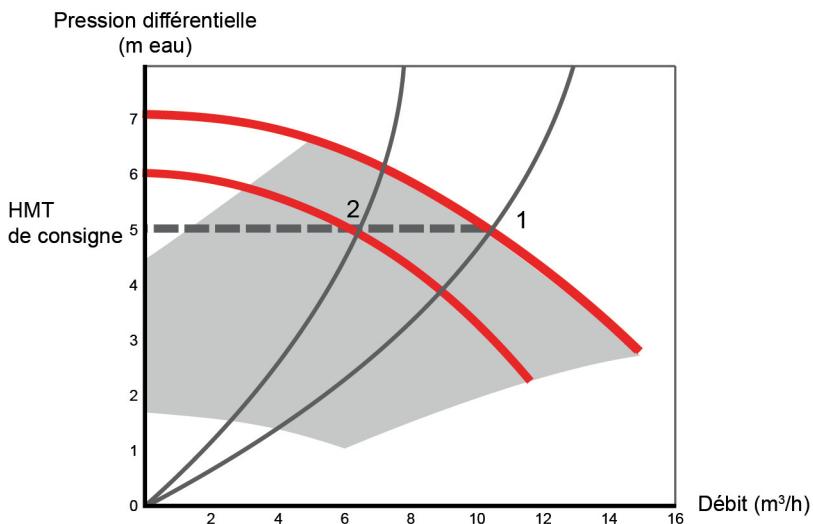
- pression différentielle constante ;
- pression différentielle proportionnelle au débit.

Mode de fonctionnement avec maintien d'une pression différentielle constante

Dans ce mode, lorsque les pertes de charge du circuit augmentent sous l'effet de fermetures de vannes, le circulateur conserve une pression différentielle constante par un abaissement de vitesse.

Sur l'exemple de la (Figure 1-3), le point de fonctionnement se déplace horizontalement du repère 1 vers le repère 2. La HMT de consigne est ici de 5 m eau.

Ce mode de réglage est à privilégier dans le cas d'installations à débit variable pour lesquelles les pertes de charge des canalisations sont faibles par rapport aux pertes de charge des émetteurs (cf. 9.3).



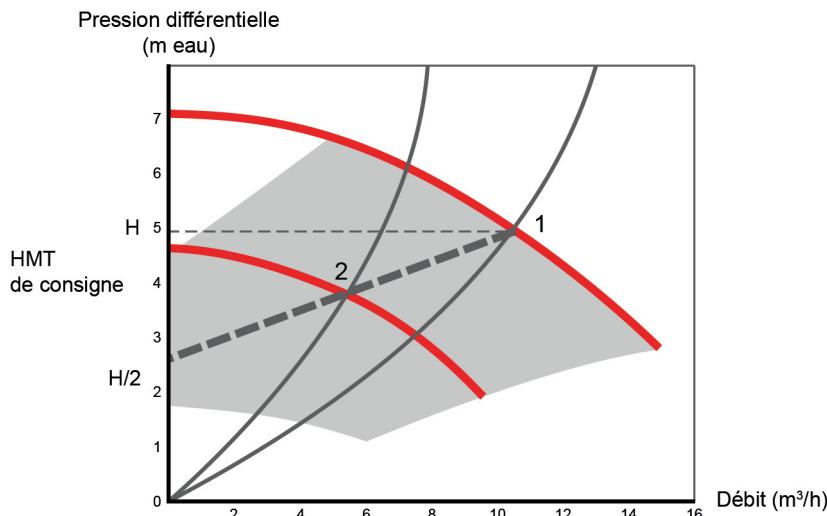
▲ Figure 1-3 : Circulateur à vitesse variable avec maintien d'une pression différentielle constante

Mode de fonctionnement avec pression différentielle proportionnelle au débit

Dans ce mode, le changement de vitesse de rotation permet d'abaisser la pression différentielle du point 1 vers le point 2, conformément à la HMT de consigne paramétrée, de 5 m eau en (Figure 1-4). Celle-ci n'est pas constante mais proportionnelle au débit. La loi de consigne est généralement une droite caractérisée par une pression différentielle à débit nul égale à la moitié de la pression différentielle de consigne à vitesse maximale, soit 2,5 m eau dans l'exemple.

Par rapport au mode à pression différentielle constante, le débit et la pression différentielle sont abaissés de façon plus conséquente. La vitesse étant plus faible, les consommations électriques sont encore réduites.

Ce mode de réglage est à privilégier lorsque les pertes de charge des canalisations sont élevées par rapport aux pertes de charge des émetteurs (cf. 9.3).



▲ Figure 1-4 : Circulateur à vitesse variable avec maintien d'une pression différentielle proportionnelle au débit



Les circulateurs à vitesse variable peuvent aussi être paramétrés en mode de fonctionnement à vitesse constante. Selon les modèles, la vitesse est alors choisie parmi les caractéristiques proposées ou bien est réglable en nombre de tours par minute.

Un mode de fonctionnement avec variation de vitesse selon la température est aussi proposé. Les applications sur les installations de génie climatique sont peu courantes.

Les circulateurs à vitesse variable disposent d'autres fonctions. Citons par exemple :

- la commande externe de la vitesse par un signal standard 0-10 Volts par exemple ;
- le raccordement à un système de GTB (Gestion technique de bâtiment) par bus de communication ;
- la mise en réduit par diminution de la vitesse lorsque la température mesurée (par une sonde intégrée au circulateur) atteint un certain seuil bas (ralentis de nuit par exemple) ;
- l'indication du débit...

Bien que l'ajustement du point de fonctionnement puisse être réalisé par une modification de la consigne de pression différentielle, une vanne d'équilibrage en série avec le circulateur (préférentiellement sur le retour du circuit) est conseillée pour ses fonctions de réglage et de mesure de débit.

L'installation d'un régulateur de pression différentielle en parallèle sur le départ du circuit n'est pas nécessaire puisque le circulateur joue le rôle de maintien de la pression différentielle.



Lors de la mise en service, ne pas omettre de paramétrier le mode de fonctionnement du circulateur à vitesse variable et de régler la consigne de pression différentielle. Les économies sur les consommations électriques en dépendent.

1.6. • Phénomène de cavitation (NPSH)

La cavitation est un phénomène dû à la vaporisation partielle d'un liquide. Il apparaît dans une zone où la pression est minimale. Dans le cas des circulateurs, ces zones se situent au bord d'attaque des aubes de la roue.

En cours de fonctionnement, si la pression dans le circulateur chute en dessous de la pression de vaporisation du liquide transporté (laquelle varie selon la température), ce dernier passe de l'état liquide à l'état vapeur. L'augmentation de pression en sortie de circulateur provoque ensuite la condensation de la vapeur formée. Ces changements d'état répétés entraînent de fortes variations de pression dans le circulateur : c'est le phénomène de cavitation.

Le NPSH (Net Positive Suction Head) est la valeur de pression minimale à respecter pour éviter le phénomène de cavitation dans le circulateur. Il correspond à la différence entre la pression totale à l'aspiration (en valeur absolue) et la pression de vaporisation du liquide dans les conditions de fonctionnement du circuit.

Le NPSH dépend de la conception du circulateur. Il est spécifié par le fabricant qui fournit son évolution en fonction du débit (le NPSH augmente avec le débit selon une relation quadratique). Il est exprimé en hauteur d'eau.

Le respect d'une valeur de NPSH supérieure à la valeur spécifiée par le fabricant garantit que la pression la plus faible sera toujours suffisante pour éviter la vaporisation du liquide et le phénomène de cavitation.

Notons que le risque de cavitation est plus élevé en chaud qu'en froid du fait de la relation liant la température à la pression de vaporisation. Ainsi, en eau glacée, le risque de cavitation est faible, la pression de vapeur saturante des liquides caloporteurs utilisés à des températures négatives étant faible. Pour évaluer le risque de cavitation, il faut toujours considérer les conditions les plus défavorables de fonctionnement du circuit.

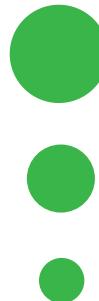
La cavitation peut être limitée en réduisant les pertes de charge à l'aspiration, en choisissant un circulateur dont le NPSH requis est plus faible ou en installant le circulateur sur le retour, là où la température est en général la plus faible.

Note

Pour éviter la cavitation et les dégradations associées, il convient de maintenir une pression suffisante à l'aspiration du circulateur.

2

Les vannes de régulation



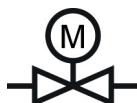
Les vannes de régulation ont pour rôle de moduler un débit. Elles sont équipées d'un servomoteur commandé par un signal progressif d'ouverture. Elles peuvent prendre une position donnée entre leur fermeture et leur ouverture complète.

2.1. • Les vannes à deux et trois voies

2.1.1. • Vannes à deux voies

Les vannes de régulation à deux voies sont couramment des modèles à soupape (encore appelés à siège). Selon le signal du régulateur, la tige se translate et provoque l'ouverture de la section de passage. Leur principe est proche de celui d'une vanne à trois voies à soupape (Figure 2-4).

Les fabricants indiquent généralement le sens de circulation par une flèche sur le corps de la vanne. Pour un modèle à soupape, il doit conduire à lever le clapet.

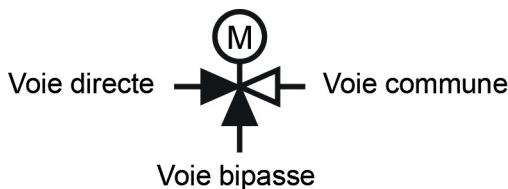


▲ Figure 2-1 : Symbole d'une vanne de régulation à deux voies

2.1.2. • Vannes à trois voies

Une vanne à trois voies comporte une voie directe, une voie bipasse et une voie commune. La voie commune est repérée par un triangle blanc sur le symbole (Figure 2-2). Elle est parcourue par un débit constant et placée en série avec le circulateur.

La position d'ouverture de la vanne est donnée en référence à l'ouverture de la voie directe, qui assure la régulation. C'est pour cette voie qu'est définie sa caractéristique (égal pourcentage ou linéaire) (cf. 2.3.1). La voie bipasse est complémentaire de la voie directe. Une vanne à trois voies est dite « ouverte » lorsque la voie directe est grande ouverte et la voie bipasse fermée. Elle est dite « fermée » lorsque la voie directe est fermée et la voie bipasse grande ouverte. Par exemple, une vanne ouverte à 40 % correspond à une ouverture de 40 % de la voie directe et de 60 % de la voie bipasse.



▲ Figure 2-2 : Symbole d'une vanne de régulation à trois voies

Lors du montage de la vanne à trois voies, les sens d'écoulement doivent être respectés afin d'assurer un fonctionnement conforme aux spécifications du fabricant. Différentes notations apparaissant sur le corps des vannes sont utilisées pour désigner les voies (Figure 2-3).



▲ Figure 2-3 : Exemples de repérages usuels des voies sur le corps d'une vanne à trois voies

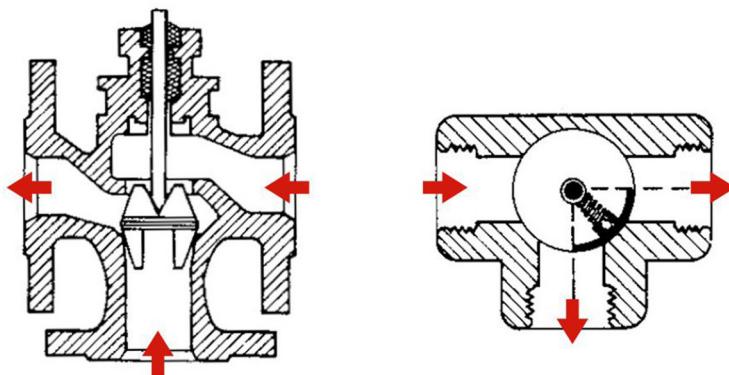


Les voies d'une vanne à trois voies ne sont pas interchangeables. Il ne faut pas intervertir les voies directe et bipasse. Dans tous les cas, il convient de se référer aux prescriptions de montage du fabricant.

Plusieurs technologies de vannes à trois voies sont utilisées (Figure 2-4) : vannes à soupape, vannes à secteur, vannes à boisseau...

Comme pour les vannes à deux voies, les vannes à trois voies à soupape font en général l'objet d'un écoulement convergent qui tend à lever le clapet et éviter les risques de claquement pour des positions proches de la fermeture.

Les vannes à secteur disposent d'un secteur qui est mis en rotation sur 90°, obturant ainsi les ouvertures des voies directe et bipasse. Ce type de vanne, moins coûteux que les vannes à soupape, présente une moins bonne étanchéité à la fermeture et est plus sensible au blocage lorsque l'eau est chargée de particules.

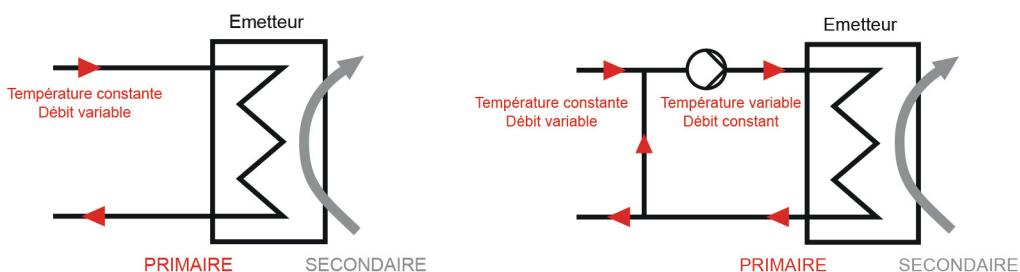


▲ Figure 2-4 : Vanne à trois voies à souape (à gauche) et à secteur (à droite)

2.2. • Les montages des vannes de régulation

Les vannes de régulation ont pour rôle de moduler la puissance d'un émetteur ou d'un ensemble d'émetteurs (Figure 2-5) :

- soit par variation de débit au primaire de l'émetteur (l'émetteur est alors alimenté à température constante) ;
- soit par variation de température en entrée primaire de l'émetteur (l'émetteur est alors alimenté à débit constant).



▲ Figure 2-5 : Principes de régulation de puissance d'un émetteur par variation de débit (à gauche) et variation de température (à droite)

Les montages présentés dans les chapitres qui suivent sont ceux couramment rencontrés sur les installations de génie climatique.

2.2.1. • Régulation de puissance par variation de débit

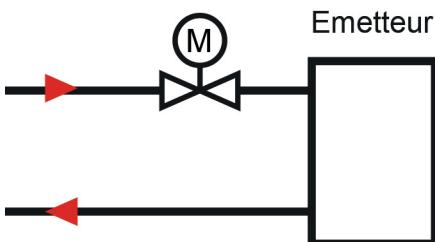
La régulation de puissance d'un émetteur par variation de débit peut être obtenue avec une vanne à deux voies ou avec une vanne à trois voies.

Montages avec une vanne à deux voies

La vanne à deux voies est placée en série avec l'émetteur (Figure 2-6). L'ouverture progressive de la vanne assure une variation du débit d'alimentation de l'émetteur.

Le débit soutiré au réseau de distribution est dans ce cas variable.

Les applications : régulation de ventilo-convecteurs, de batteries de centrales de traitement d'air, régulation de planchers chauffants, robinets thermostatiques...



▲ Figure 2-6 : Variation de débit par une vanne à deux voies

Montages avec une vanne à trois voies

Dans ce montage, la vanne à trois voies soutire un débit constant au réseau de distribution. Selon sa position d'ouverture, elle fait varier le débit alimentant l'émetteur et une partie du débit est retourné au réseau.

Ces montages sont désignés en « décharge ». Ils peuvent être assurés avec une vanne à trois voies montée :

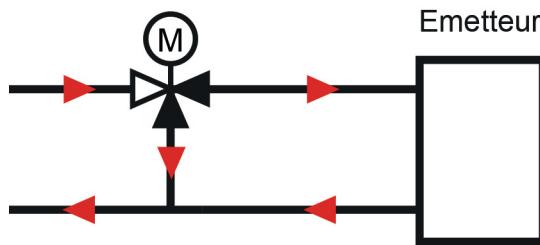
- en entrée de l'émetteur (Figure 2-7). On parle de montage en « décharge » ;
- en sortie de l'émetteur (Figure 2-8). On parle de montage en « décharge inversée ».

Ces deux montages sont équivalents d'un point de vue du fonctionnement (commande de la vanne par la régulation) et de l'objectif de régulation de puissance. Leur différence réside dans l'alimentation interne de la vanne : dans un cas les débits sont divergents (entrée par la voie commune et sorties par les deux autres voies) (Figure 2-7), dans l'autre ils sont convergents dans la vanne (entrées par les voies direct et bipasse, sortie par la voie commune) (Figure 2-8).

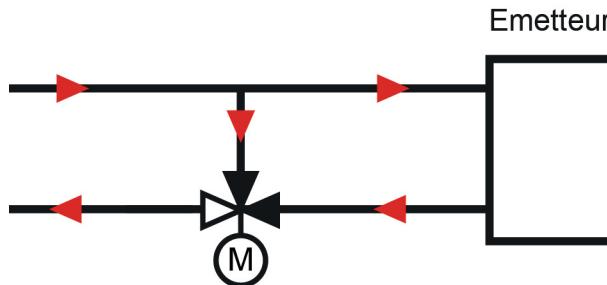
Les éventuelles indications de raccordement du fabricant doivent être suivies et peuvent conduire à un montage en « décharge » ou « décharge inversée ».

L'habitude d'alimentation des vannes en « convergent » conduit à avoir fréquemment sur le terrain des vannes montées en sortie d'émetteur, par exemple sur les batteries des centrales de traitement d'air.

Les applications : régulation de ventilo-convecteurs, de batteries de centrales de traitement d'air...



▲ Figure 2-7 : Variation de débit par une vanne à trois voies montée en « décharge »



▲ Figure 2-8 : Variation de débit par une vanne à trois voies montée en « décharge inversée »



Le choix d'une vanne à deux voies pour réguler le débit d'un émetteur est conseillé. Cette solution induit un débit variable dans le réseau de distribution, ce qui permet de rendre effective la variation de vitesse du circulateur. Ce n'est pas le cas d'une vanne à trois voies pour laquelle le point de fonctionnement du circulateur à vitesse variable est constant.

2.2.2. • Régulation de puissance par variation de température au moyen d'un mélange

La vanne à trois voies soutire un débit constant au réseau de distribution. La variation de la température est obtenue par un mélange entre le débit d'eau en provenance de la production et le débit d'eau de retour de l'émetteur. L'émetteur est alimenté à débit constant, par un circulateur en série.

Ces montages sont désignés en « mélange ». Ils peuvent être assurés avec une vanne à trois voies montée :

- en entrée de l'émetteur (Figure 2-9). On parle de montage en « mélange » ;
- en sortie de l'émetteur (Figure 2-10). On parle de montage en « mélange inversé ».

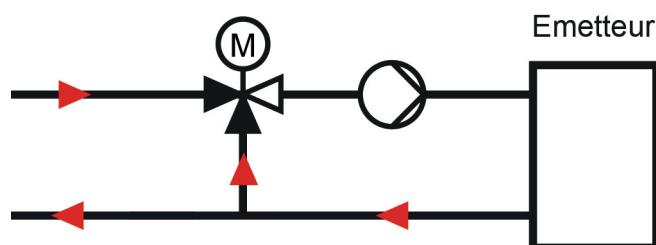
Ces deux montages sont équivalents d'un point de vue du fonctionnement (commande de la vanne par la régulation) et de l'objectif de régulation de puissance. Leur différence réside dans l'alimentation interne de la vanne : dans un cas les débits sont convergents dans la vanne (entrées par les voies direct et bipasse, sortie par la voie commune) (Figure 2-9), dans l'autre ils sont divergents (entrée par la voie commune et sorties par les deux autres voies) (Figure 2-10).

Les éventuelles indications de raccordement du fabricant doivent être suivies et peuvent conduire à un montage en « mélange » ou « mélange inversé ».

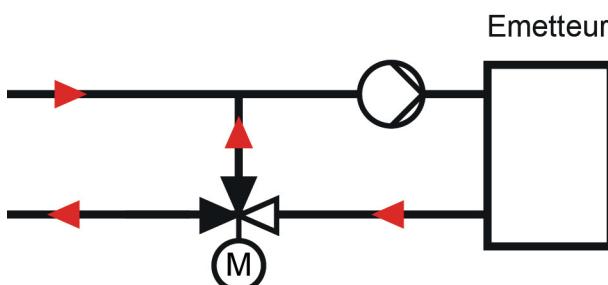
L'habitude d'alimentation des vannes en « convergent » conduit à avoir fréquemment sur le terrain des vannes montées au départ de l'installation de distribution.

Les applications : régulation centrale de la température d'eau au départ d'une installation de radiateurs, de planchers chauffants, de ventilo-convecteurs... en fonction de la température extérieure.

Ce montage est rarement utilisé en régulation terminale car il induit la mise en place d'un circulateur par émetteur.



▲ Figure 2-9 : Variation de température par une vanne à trois voies montée en « mélange »



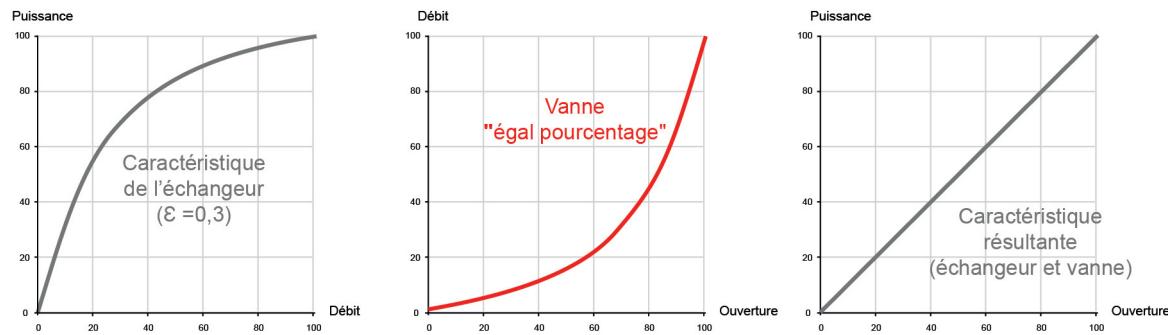
▲ Figure 2-10 : Variation de température par une vanne à trois voies montée en « mélange inversé »

2.3. • Choix et dimensionnement d'une vanne de régulation

La variation de puissance d'un émetteur n'est pas proportionnelle à la variation du débit ou du rapport de débit l'alimentant. Elle est fortement incurvée, pour une efficacité courante proche de 0,3 (cf. 12.6.3).

Afin d'obtenir un réglage correct de la puissance, la caractéristique de l'émetteur doit être compensée par une caractéristique de forme complémentaire assurée par la vanne de régulation.

L'évolution linéaire de la puissance en fonction du pourcentage d'ouverture de la vanne doit reposer sur le choix d'une vanne présentant une caractéristique d'évolution du débit en fonction de l'ouverture inverse de la courbe d'émission des émetteurs, comme le montre la (Figure 2-11).



▲ Figure 2-11 : Pour que l'évolution de puissance soit linéaire, la caractéristique des émetteurs doit être compensée par une caractéristique inverse de la vanne de régulation

2.3.1. • K_v et caractéristique de vanne

Le K_v d'une vanne correspond, par définition, au débit en m^3/h la parcourant lorsqu'elle est soumise à une pression différentielle de 1 bar.

Il permet de caractériser une vanne indépendamment du circuit dans lequel elle sera installée.

La caractéristique d'une vanne désigne la courbe d'évolution du K_v en fonction de son réglage, de 0 à 100 % d'ouverture (Figure 2-12).

Les modèles proposés par les fabricants sont de type « linéaire » ou « égal pourcentage ».

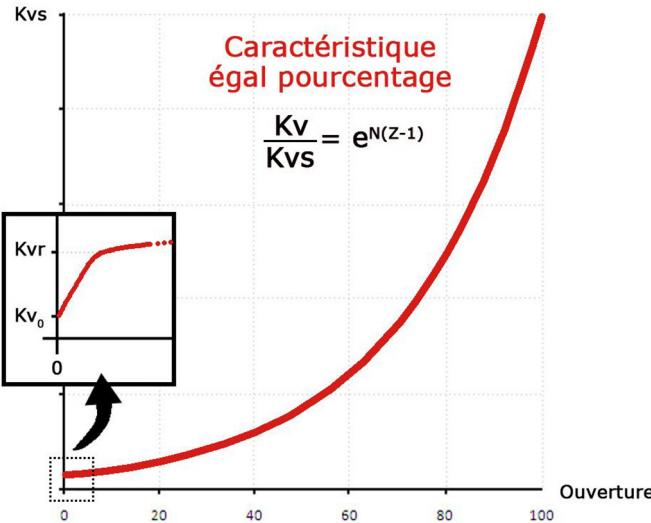
Salon les indications données ci-avant, seule une vanne présentant une caractéristique « égal pourcentage » permet de compenser la non linéarité des émetteurs et d'assurer une régulation satisfaisante.

Le K_{v0} correspond au K_v de la vanne à 100 % d'ouverture. Cette valeur est utilisée lors du dimensionnement de la vanne et figure dans les documents des fabricants.

Le K_{v0} , ou débit de fuite, est le K_v de la vanne lorsqu'elle est fermée. Il résulte de contraintes de fabrication. Il est exprimé en pourcentage de K_{vs} (rapport K_{v0}/K_{vs}). La valeur de K_{v0} doit être la plus faible.

Le K_{vr} est la valeur de K_v au dessus de laquelle la caractéristique correspond à la définition « égal pourcentage ».

En (Figure 2-12), la formule d'évolution exponentielle fait apparaître un coefficient N , spécifique au modèle de vanne. Il est quelquefois précisé dans la notice, il est de l'ordre de 3. Dans la formule, z est l'ouverture de la vanne comprise entre 0 et 1 (0 à 100 %).



▲ Figure 2-12 : Caractéristique « égal pourcentage » d'une vanne de régulation



Une vanne présentant une caractéristique « égal pourcentage » est requise pour compenser la non-linéarité des émetteurs.

La relation entre le débit et la perte de charge d'une vanne caractérisée par son K_v s'exprime par la formule suivante :

$$q = Kv \times \sqrt{\Delta p}$$

Avec :

- K_v , le débit en m^3/h parcourant la vanne soumise à une pression différentielle de 1 bar ;
- q , le débit en m^3/h ;
- Δp , la perte de charge de la vanne en bar.

Si le fluide n'a pas une masse volumique de 1000 kg/m^3 , la formule est la suivante (avec ρ en kg/m^3) :

$$q = Kv \times \sqrt{\Delta p \times \frac{1000}{\rho}}$$

Note

Dans les formules, les pertes de charge sont exprimées en bar.

2.3.2. • L'autorité d'une vanne de régulation

Le choix d'un modèle adapté, présentant une caractéristique « égal pourcentage », ne suffit pas.

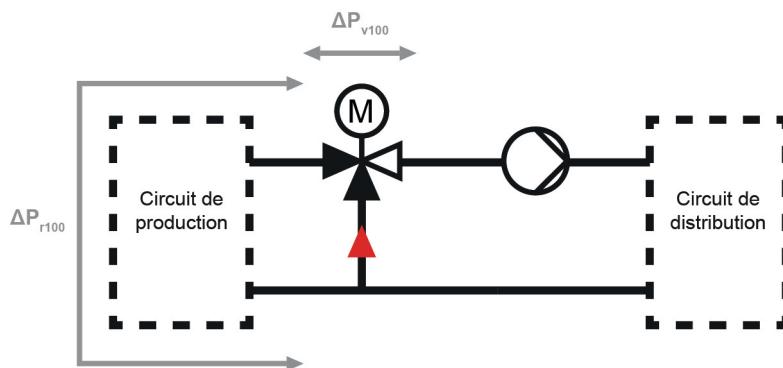
Lorsque la vanne est en place sur le réseau, elle doit avoir une perte de charge suffisante afin que sa caractéristique ne soit pas déformée. En effet, l'évolution du débit en fonction du K_v doit être proche d'une droite. Cet impératif est obtenu par une vanne présentant une perte de charge suffisante par rapport au réseau dont elle règle le débit. La vanne doit s'imposer, être « autoritaire ».

L'autorité d'une vanne de régulation, définie à son ouverture maximale, s'exprime par (Figure 2-13) :

$$a = \frac{\Delta p_{v100}}{\Delta p_{v100} + \Delta p_{r100}}$$

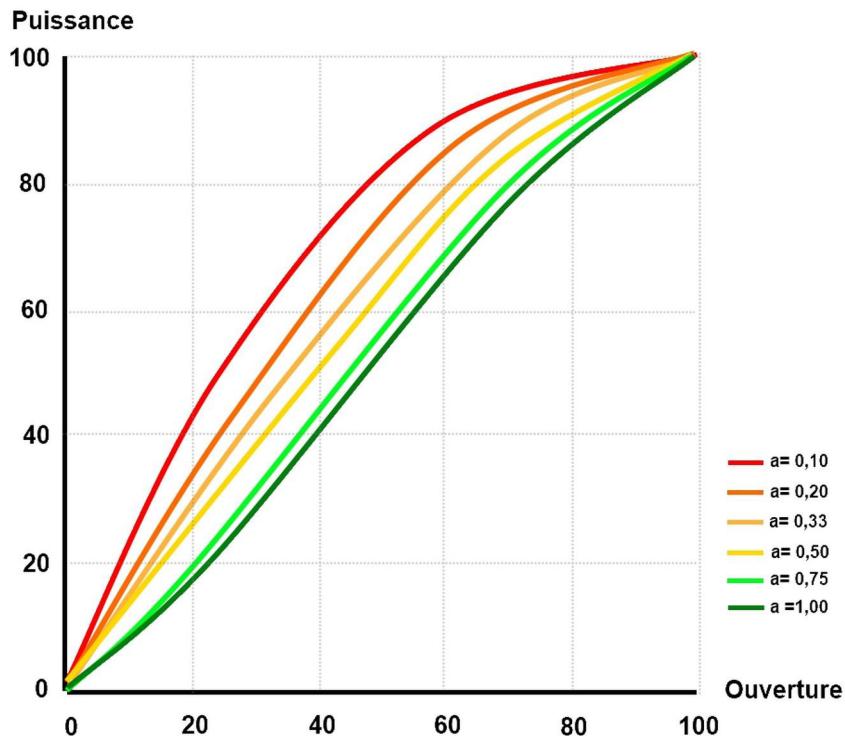
Avec :

- a , l'autorité de la vanne (comprise entre 0 et 1) ;
- Δp_{v100} , la perte de charge dans la vanne ouverte à 100 % ;
- Δp_{r100} , la perte de charge des éléments du réseau parcourus par le débit variable, pour la vanne ouverte à 100 %.



▲ Figure 2-13 : Grandeur utilisées pour exprimer l'autorité d'une vanne à trois voies

L'autorité d'une vanne influence la progressivité de la variation de débit et donc de puissance. Comme le montrent les tracés (Figure 2-14) pour différentes valeurs d'autorité, la courbe d'émission s'éloigne d'autant plus d'une droite que l'autorité de la vanne est faible. La (Figure 2-14) est tracée pour une vanne « égal pourcentage ».



▲ Figure 2-14 : Incidence de l'autorité de la vanne de régulation sur l'évolution de la puissance émise (pour une vanne « égal pourcentage »)

On constate ainsi que :

- pour une autorité supérieure à 0,5, la progressivité du réglage n'est pas notablement améliorée. De plus, l'augmentation de l'autorité de la vanne engendre une augmentation de sa perte de charge et donc des coûts de circulation plus importants ;
- une autorité égale à 0,33 doit être assurée pour avoir une régulation de puissance satisfaisante. En dessous, la concavité de la courbe est trop prononcée pour garantir une régulation de l'émission de puissance satisfaisante.

L'autorité d'une vanne doit être comprise entre 0,33 et 0,5 pour garantir une régulation satisfaisante. Le choix d'une autorité supérieure à 0,5 augmentera inutilement le coût de la vanne et la consommation du circulateur. Une autorité inférieure à 0,33 dégradera trop fortement la progressivité de la régulation du débit.

2.3.3. • Le dimensionnement d'une vanne de régulation

Le dimensionnement d'une vanne de régulation consiste à rechercher une autorité de 0,5 c'est-à-dire une vanne dont la perte de charge est équivalente à la perte de charge du réseau parcouru par le débit variable :

$$\Delta p_{v100} = \Delta p_{r100}$$

Le débit et la perte de charge de la vanne étant connus, il s'agit :

- soit de calculer le K_{vs} à partir de la formule ci-dessous ;
- soit d'utiliser l'abaque fourni par le fabricant (Figure 2-16).

$$K_{vs} = \frac{q}{\sqrt{\Delta p_{v100}}}$$

Le choix doit se porter sur une vanne de K_{vs} ou de diamètre le plus proche, mais plus faible afin d'assurer une autorité supérieure à 0,5.

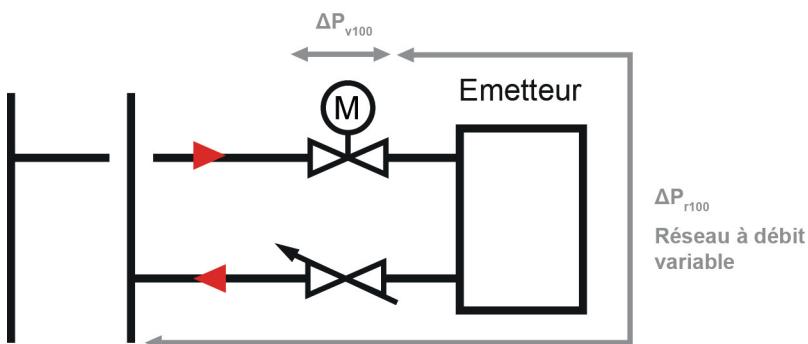
Il convient dans tous les cas de vérifier que l'autorité est supérieure à 0,33.



Le diamètre d'une vanne de régulation doit être choisi selon le critère d'autorité, en connaissance du débit et de la perte de charge.

Exemple de dimensionnement pour une vanne à deux voies

On souhaite dimensionner une vanne à deux voies alimentant une batterie froide à eau glacée (Figure 2-15).



▲ Figure 2-15 : Exemple de dimensionnement d'une vanne à deux voies

Le débit nominal, vanne ouverte, est de $2,5 \text{ m}^3/\text{h}$. La perte de charge du réseau à débit variable, contrôlé par la vanne, repéré en gris sur le schéma de la (Figure 2-15) est de $1,6 \text{ m eau}$ (pour ce débit). Il s'agit des pertes de charge de la batterie et des canalisations et accessoires (dont la vanne d'équilibrage).

En fixant l'autorité à 0,50, on a :

$$\Delta p_{r100} = \Delta p_{v100} = 1,6 \text{ m eau}, \text{ soit } 0,16 \text{ bar}$$

Soit :

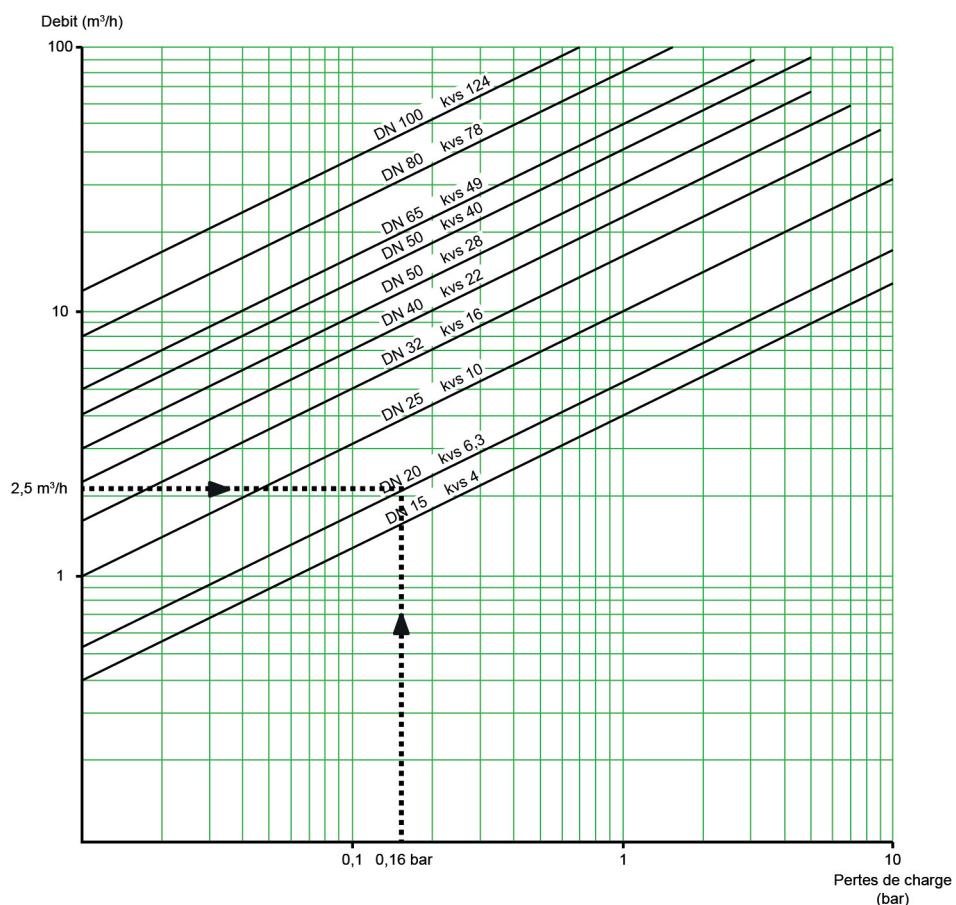
$$K_{vs} = \frac{q}{\sqrt{\Delta p_{v100}}} = \frac{2,5}{\sqrt{0,16}} = 6,25 \text{ m}^3/\text{h sous 1 bar}$$

Selon la (Figure 2-16), on choisit une vanne de diamètre DN20 dont le K_{vs} est de $6,3 \text{ m}^3/\text{h}$. La perte de charge de la vanne au débit nominal est de :

$$\Delta p_{v100} = \left(\frac{q}{K_{vs}} \right)^2 = \left(\frac{2,5}{6,3} \right)^2 = 0,157 \text{ bar}$$

Au final, l'autorité obtenue est de :

$$a = \frac{\Delta p_{v100}}{\Delta p_{v100} + \Delta p_{r100}} = \frac{0,157}{0,157 + 0,16} = 0,49$$



▲ Figure 2-16 : Exemple de choix du diamètre d'une vanne de régulation à partir d'un abaque

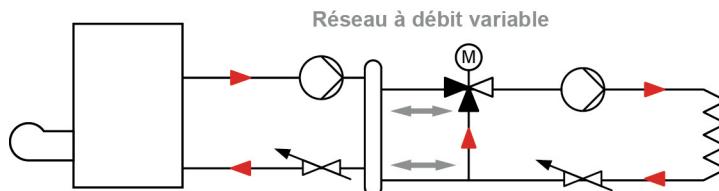
Note

L'abaque de la (Figure 2-16) est un exemple. Les abaques sont spécifiques au modèle de vanne.

Exemple de dimensionnement pour une vanne à trois voies et un montage avec bouteille de découplage

Sur une installation de chauffage, en présence d'une bouteille de découplage (Figure 2-17), le réseau parcouru par le débit variable est constitué des canalisations de raccordement à la bouteille identifiées en gris sur le schéma. En absence de bouteille, ce seraient les pertes de charge de la chaudière et de son réseau qu'il faudrait considérer.

Dans cette configuration avec bouteille, les pertes de charge du circuit étant très faibles, l'autorité de la vanne est toujours très élevée, quel que soit le K_{vs} choisi. Le diamètre de la vanne peut, dans ce cas, être égal à celui des canalisations.



▲ Figure 2-17 : Exemple de dimensionnement d'une vanne à trois voies placée sur une installation avec bouteille de découplage



2.3.4. • Conditions supplémentaires à respecter dans le cas d'une vanne à trois voies

Pour une vanne de régulation à trois voies, en complément du respect de l'autorité, il convient de maintenir un débit constant dans la voie commune.

Il faut pour cela que la perte de charge de la vanne ajoutée à celle du circuit à débit variable soit faible devant la pression différentielle motrice, c'est-à-dire la hauteur manométrique (HMT) (cf. 1.4) du circulateur placé sur la voie commune :

$$\Delta p_{v100} + \Delta p_{r100} < HMT/2$$

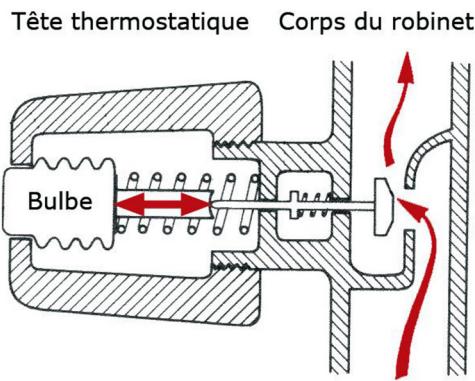
Par ailleurs, il faut minimiser la résistance hydraulique dans la voie bipasse. Le respect de cette condition permet de privilégier la circulation dans la voie bipasse lorsque la vanne travaille à charge partielle, là où les difficultés de régulation sont les plus prononcées.

Les surdébits engendrés dans le circuit à débit constant sont généralement acceptables si les autres règles de dimensionnement ont été respectées.

Une vanne d'équilibrage sur la voie bipasse de la vanne à trois voies n'est pas utile, voire contre-indiquée (augmentation du débit de fuite de la vanne).

2.4. • Les robinets thermostatiques

Un robinet thermostatique peut être assimilé à une vanne à deux voies avec une régulation de température ambiante intégrée (Figure 2-18). Il est placé sur les radiateurs et agit comme organe de régulation terminale. Il fait varier le débit d'eau irriguant le radiateur en fonction de la température du local afin de maintenir la consigne d'ambiance réglée sur le volant. Lorsque des apports internes élèvent la température ambiante, le fluide du bulbe thermostatique se dilate et actionne la fermeture du clapet dans le corps du robinet.



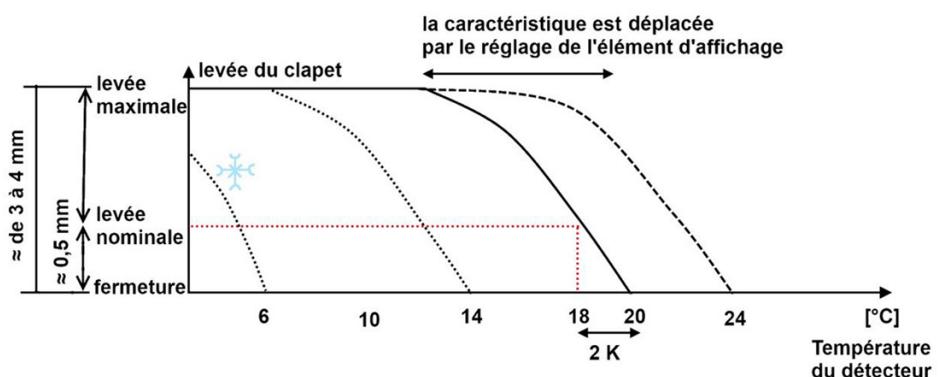
▲ Figure 2-18 : Représentation d'un robinet thermostatique et de son principe de fonctionnement

La (Figure 2-19) montre l'évolution du déplacement du clapet en fonction de la température.

La plage de travail d'un robinet thermostatique, de l'ouverture totale du clapet à sa fermeture, est généralement comprise entre 6 et 8 K.

Une position particulière du déplacement du clapet est appelée « levée nominale » (selon la norme NF EN 255). Elle correspond à un écart de température de l'ordre de 2 K. Elle permet de restreindre la plage d'action pour améliorer la performance de la régulation. La puissance nominale est atteinte pour cette levée nominale. Cet écart est assimilable à une bande proportionnelle.

Le dimensionnement d'un robinet thermostatique est similaire à celui d'une vanne de régulation à deux voies. C'est la valeur de K_v à la levée nominale qui est utilisée, et non à l'ouverture totale. Les valeurs de K_v nominal permettent de déterminer le modèle en fonction du débit et de la perte de charge afin d'assurer une autorité suffisante. Elles sont données par le fabricant.



▲ Figure 2-19 : Plage de régulation d'un robinet thermostatique

3

Les régulateurs de pression différentielle et de débit



3.1. • Les régulateurs de pression différentielle

Les régulateurs de pression différentielle ont pour rôle de stabiliser la pression différentielle à la valeur de consigne paramétrée.

Ils sont composés d'un corps de vanne mis en mouvement :

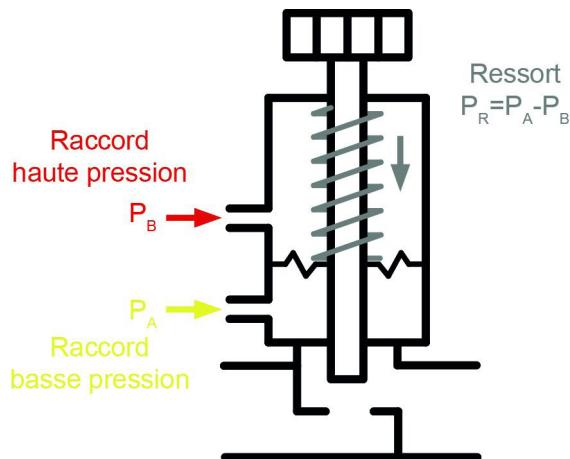
- soit par la différence de pressions qui s'applique de part et d'autre d'une membrane. Les prises de pression sont visibles en (Figure 3-1) ;
- soit par les pressions qui s'appliquent en direct sur le corps de la vanne.

La consigne de pression différentielle est paramétrée par le tarage d'un ressort ou un dispositif autre.

Le fonctionnement progressif en fonction de la pression différentielle peut être assimilé à celui d'un régulateur proportionnel, avec l'inconvénient de présenter un effet de dérive dans le maintien de la consigne.

Les régulateurs de pression différentielle s'installent selon deux montages possibles :

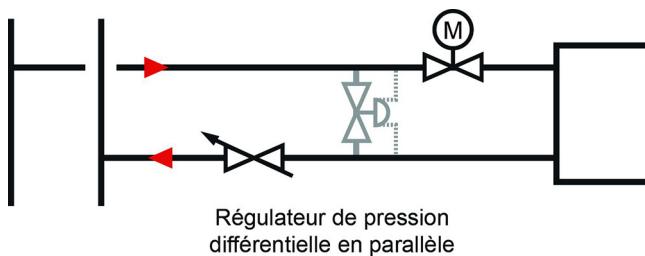
- en parallèle (cf. 3.1.1) ;
- en série (cf. 3.1.2).



▲ Figure 3-1 : Principe d'un régulateur de pression différentielle

3.1.1. • Régulateurs de pression différentielle en parallèle

Lorsque le régulateur de pression différentielle est placé en parallèle, comme à la (Figure 3-2), il est normalement fermé et il s'ouvre pour dériver un débit lorsque la pression différentielle mesurée augmente au-delà de la valeur de consigne paramétrée.



▲ Figure 3-2 : Régulateur de pression différentielle monté en parallèle

Une application consiste à les placer sur le départ d'un réseau de distribution alimenté par un circulateur à vitesse constante. Ils sont alors aussi désignés « soupape de décharge » ou « soupape différentielle ».

Lors de la fermeture des vannes de régulation à deux voies des émetteurs (robinets thermostatiques par exemple), le point de fonctionnement du circulateur se déplace vers le haut sous l'effet de l'augmentation des pertes de charge (Figure 1-1). L'ouverture du régulateur de pression différentiel permet de maintenir le point de fonctionnement.

Dans ce cas, la consigne de pression différentielle à régler correspond à la hauteur manométrique du point de fonctionnement nominal du circulateur. Une valeur supérieure peut aussi être réglée, tout en conservant un débit minimal dans le circulateur.

Ils peuvent aussi être placés sur une colonne de distribution ou sur une branche horizontale alimentant des émetteurs équipés de vannes de régulation à deux voies. Ils permettent d'éviter des excès de pression différentielle sur les vannes à l'origine de dérives fonctionnelles engendrant des surdébits (cf. 9).

Les régulateurs de pression différentielle en parallèle présentent pour inconvénients d'engendrer, lors de leur ouverture, un recyclage d'eau vers le retour de la production. Ce phénomène n'est pas indiqué pour garantir les performances des chaudières à condensation (réchauffage des retours) ou des groupes frigorifiques.

Ils sont choisis en fonction du débit à dériver et de leur perte de charge qui doit compenser la perte de charge du réseau contrôlé.

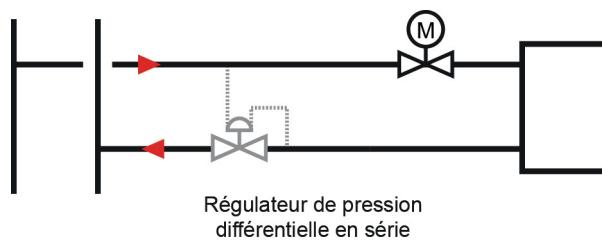
Note

La vanne d'équilibrage doit être placée avant le régulateur de pression différentielle, côté production.



3.1.2. • Régulateurs de pression différentielle en série

Lorsque le régulateur de pression différentielle est placé en série, comme à la (Figure 3-3), il est normalement ouvert et se ferme lorsque la pression différentielle mesurée augmente au-delà de la valeur de consigne paramétrée.



▲ Figure 3-3 : Régulateur de pression différentielle monté en série

En se fermant, la perte de charge du régulateur augmente et limite ainsi la pression différentielle appliquée sur la vanne de régulation et l'émetteur. Les excès de pression différentielle sur les vannes à l'origine de dérives fonctionnelles sont évités avec leurs conséquences (cf. 9).

Dans ce cas, la consigne de pression différentielle à régler correspond à la pression différentielle nominale d'alimentation du tronçon.

Les régulateurs de pression différentielle en série peuvent aussi être placés sur une colonne de distribution ou sur une branche horizontale.

Ils présentent pour inconvénients d'accroître les pertes de charge, en particulier sur le circuit de l'émetteur le plus défavorisé, et donc d'augmenter la hauteur manométrique du circulateur et par conséquent ses consommations électriques.

Pour assurer leur fonctionnement, certains régulateurs de pression différentielle nécessitent une pression différentielle disponible importante pour vaincre leurs pertes de charge (pression différentielle minimale indiquée par le fabricant).

Les régulateurs de pression différentielle en série sont choisis en fonction du débit nominal du tronçon où ils sont placés. Ils doivent permettre de créer une perte de charge qui équivaut à la différentielle maximale qui peut s'appliquer aux bornes du tronçon.

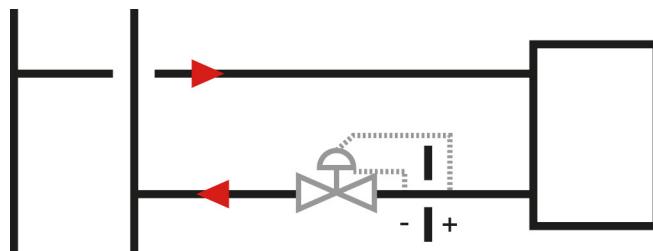
3.2. • Les régulateurs de débit

Les régulateurs de débits ont pour rôle de stabiliser le débit à la valeur de consigne paramétrée.

Leur principe est similaire à celui des régulateurs de pression différentielle en série.

La mesure de pression différentielle est effectuée de part et d'autre d'un organe déprimogène (Figure 3-4) ou d'un dispositif similaire. Ce sont les pertes de charge qui sont mesurées et donc le débit.

Le régulateur de débit se ferme lorsque le débit mesuré augmente au-delà de la valeur de consigne paramétrée.



▲ Figure 3-4 : Régulateur de débit

Ces organes permettent de limiter le débit dans un tronçon, par exemple au niveau des émetteurs équipés de vannes de régulation à deux voies ou de robinets thermostatiques afin d'éviter des surdébits dus à des fonctionnements à charge partielle des vannes de régulation du réseau à débit variable (cf. 9).

La consigne de débit à régler correspond au débit nominal du tronçon.

Les régulateurs de débit peuvent aussi être placés sur une colonne de distribution ou sur une branche horizontale.

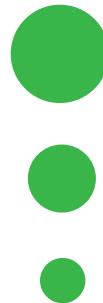
Comme les régulateurs de pression différentielle en série, les régulateurs de débit présentent pour inconvénients d'ajouter des pertes de charge supplémentaires sur le circuit, en particulier sur le circuit de l'émetteur le plus défavorisé, et donc d'augmenter la hauteur manométrique du circulateur et par conséquent ses consommations électriques.

Note

Les fabricants proposent des robinets thermostatiques intégrant un régulateur de débit.

4

Les canalisations



4.1. • Critères de choix des canalisations

La nature (type de matériau) et le diamètre de la canalisation doivent être choisis en fonction de leur domaine d'application, selon les caractéristiques présentées ci-après.

4.1.1. • Propriétés physico-chimiques

Les propriétés physico-chimiques du fluide sont les premiers éléments à considérer. Elles permettent d'orienter le choix du matériau constitutif des conduites, compatible avec le fluide véhiculé. Différents NF DTU précisent les domaines d'applications des canalisations de diverses natures utilisées en génie climatique.

4.1.2. • Pressions et températures de service

L'installation fonctionne dans certaines conditions maximales de pression et de température, dites de service, respectivement notées PMS et TMS.

Celles-ci doivent rester dans les limites que peuvent supporter l'ensemble des matériaux en toute sécurité ; c'est-à-dire à une pression inférieure à la pression maximale admissible (notée PMA) et dans une plage de températures comprise entre les températures minimale et maximale admissibles (notées TmA et TMA).



Un tube désigné PN10 peut être adapté à une température de 90°C et ne plus l'être à 130°C. La pression maximale admissible peut en effet diminuer en-dessous d'une certaine température. La pression nominale PN utilisée dans la désignation des produits étant donnée pour une température de 20°C, il convient de s'assurer que le matériel choisi répond effectivement aux contraintes d'utilisation.

4.1.3. • Compatibilité des matériaux et respect du domaine d'application

Certains matériaux ne peuvent être associés ou doivent faire l'objet de précautions. Dans le cas, par exemple, d'une distribution d'eau chaude sanitaire, la mise en place d'une canalisation en acier galvanisé en aval d'une canalisation en cuivre est interdite. Par ailleurs, pour la distribution d'eau sanitaire, les matériaux organiques et les accessoires constitués d'au moins un composant organique doivent disposer d'un Attestation de Conformité Sanitaire (ACS).

Note

Les canalisations sont l'objet de normes selon leur matériau :

- matériau de synthèse : NF EN ISO 15874-2, NF EN ISO 15875-2 et NF EN ISO 15876-2 ;
- cuivre : NF EN 1057 ;
- acier : NF EN 10255 et NF EN 10216-1.

4.2. • Dimensionnement des canalisations

Le dimensionnement des canalisations consiste à déterminer leur diamètre en fonction du débit à véhiculer en respectant les contraintes :

- acoustiques, un diamètre trop faible induisant une vitesse trop élevée ayant pour conséquences des bruits de circulation ;
- économiques, en termes de coût d'investissement (canalisations et circulateurs) et de consommation électrique des circulateurs.

En effet, le coût global actualisé (somme des coûts d'investissement et des coûts d'exploitation) doit être minimisé :

- un faible diamètre de canalisation réduit son coût ;
- mais augmente les pertes de charge et donc le coût du circulateur et ses consommations électriques.

Concrètement, le compromis consiste à mener le calcul en considérant une perte de charge linéique (cf. 12.7.1) de 10 mm eau/m, sans excéder la valeur de 15 mm eau/m.



Le choix du diamètre étant fait, il convient de veiller à ne pas dépasser les vitesses limites énoncées dans le Cahier des Clauses Techniques Générales (CCTG)¹ pour éviter les nuisances sonores.

Le tableau de la (Figure 4-1) fournit ces valeurs limites en fonction du matériau, du diamètre et de la localisation (en sous-sol ou en étage).

A noter que de faibles pertes de charge linéiques permettent de limiter les dérives fonctionnelles des vannes terminales des circuits à débit variable (cf. 9). Par ailleurs, les diamètres plus élevés augmentent la contenance des canalisations ce qui limite, dans certains cas, la capacité du volume tampon pour les installations où il s'avère nécessaire.

Les vitesses dans les canalisations doivent toutefois rester suffisantes pour éviter les phénomènes de dépôts de boues et de thermosiphon et assurer un dégazage et un rinçage suffisants.

		Vitesses limites (m/s)	
Calibre usuel	Diamètre extérieur (mm)	Canalisation en sous-sol	Canalisation en étage
Tube acier			
12	17,2	0,45	0,45
15	21,3	0,55	0,55
20	26,9	0,70	0,70
25	33,7	0,80	0,80
32	42,4	0,90	0,90
40	48,3	0,95	0,95
50	60,3	1,10	1,00
65	70,0	1,30	1,10
65	76,1	1,30	1,10
80	88,9	1,40	1,20
90	101,6	1,50	1,20
100	108,0	1,50	1,20
100	114,3	1,50	1,20
125	133,0	1,50	1,20
125	139,7	1,50	1,20
150	159,0	1,50	1,20
Tube cuivre			
10/12	12	-	0,45
12/14	14	-	0,50
14/16	16	-	0,55
16/18	18	-	0,60
18/20	20	-	0,65
20/22	22	-	0,70

▲ Figure 4-1 : Vitesses limites à ne pas dépasser pour éviter les nuisances sonores (CCTG)

■ 1 Le CCTG – Marchés publics de travaux d'installation de génie climatique (n° 2015) est abrogé depuis le 1^{er} juillet 2012.

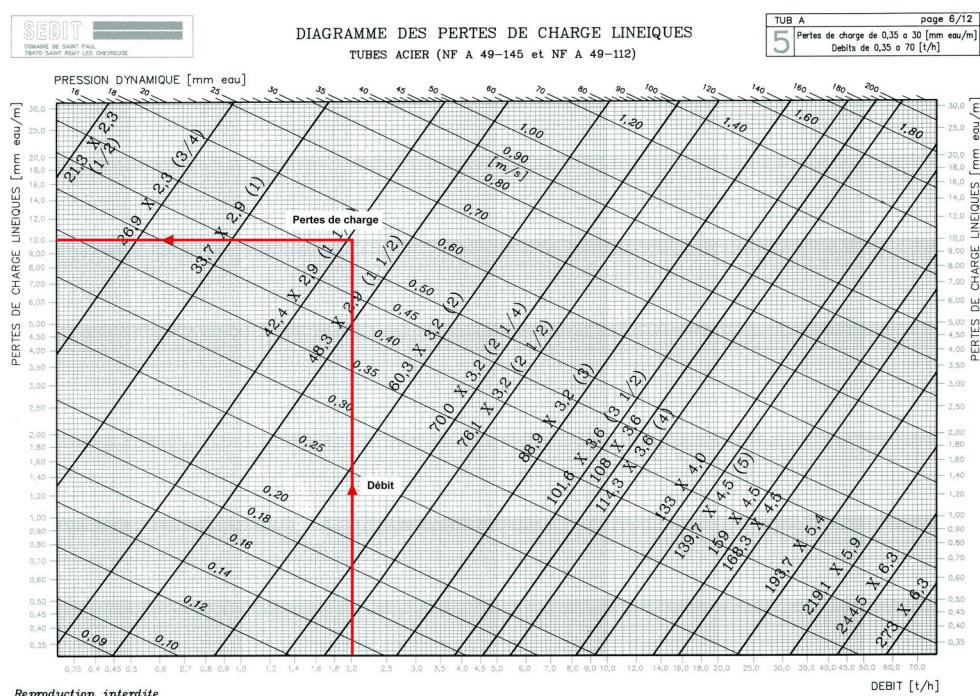
Exemple de dimensionnement par un diagramme de pertes de charge linéiques

Les diagrammes de pertes de charge linéiques sont présentés au chapitre 12.7.1 (cf. 12.7.1).

L'exemple consiste à dimensionner une canalisation en acier parcourue par un débit de 2 m³/h.

En considérant une perte de charge de 10 mm eau/m, le choix se porte sur une canalisation en DN 32 (42,4 x 2,9 mm) (Figure 4-2).

On vérifie que la vitesse lue sur le diagramme de 0,55 m/s est bien inférieure à la valeur limite de 0,90 m/s pour une localisation en sous-sol.



▲ Figure 4-2 : Exemple de détermination par diagramme du diamètre d'une canalisation à partir d'une perte de charge linéique de 10 mm eau/m

Données de pré-dimensionnement

En guise de pré-dimensionnement, les tableaux suivants fournissent les valeurs maximales de débit à véhiculer dans un diamètre de canalisation donné calculées pour la valeur maximale de 15 mm eau/m.

Les calculs sont menés pour de l'eau non glycolée à 80°C.

Ils sont donnés pour des canalisations en matériau de synthèse (Figure 4-3), en cuivre (Figure 4-4) et en acier (Figure 4-5).



Canalisations en matériau de synthèse								
DN (mm)	DN (pouce)	Appellation	Diam. ext. (mm)	Diam. int. (mm)	Ep. (mm)	Valeurs maximales		
						Débit (l/h)	Pertes de charge (mm eau/m)	Vitesse (m/s)
-	-	16x1,5	16	13	1,5	170	15	0,35
-	-	20x1,9	20	16,2	1,9	300	15	0,42
-	-	25x2,3	25	20,4	2,3	555	15	0,48
-	-	32x2,9	32	26,2	2,9	1080	15	0,58
-	-	40x3,7	40	32,6	3,7	1950	15	0,67
-	-	50x4,6	50	40,8	4,6	3550	15	0,78
-	-	63x5,8	63	51,4	5,8	6600	15	0,91
-	-	75x6,8	75	61,4	6,8	10750	15	1,04

▲ Figure 4-3 : Pré-dimensionnement des canalisations en matériau de synthèse pour une perte de charge maximale de 15 mm eau/m (eau à 80°C)

Canalisations en cuivre								
DN (mm)	DN (pouce)	Appellation	Diam. ext. (mm)	Diam. int. (mm)	Ep. (mm)	Valeurs maximales		
						Débit (l/h)	Pertes de charge (mm eau/m)	Vitesse (m/s)
14	-	16x1	16	14	1	200	15	0,37
16	-	18x1	18	16	1	285	15	0,42
18	-	20x1	20	18	1	395	15	0,44
20	-	22x1	22	20	1	520	15	0,48
26	-	28x1	28	26	1	1050	15	0,57
30	-	32x1	32	30	1	1550	15	0,64
34	-	36x1	36	34	1	2200	15	0,69
36	-	38x1	38	36	1	2550	15	0,71
38	-	40x1	40	38	1	2950	15	0,75
40	-	42x1	42	40	1	3400	15	0,78

▲ Figure 4-4 : Pré-dimensionnement des canalisations en cuivre pour une perte de charge maximale de 15 mm eau/m (eau à 80°C)

Canalisations en acier								
DN (mm)	DN (pouce)	Appellation	Diam. ext. (mm)	Diam. int. (mm)	Ep. (mm)	Valeurs maximales		
						Débit (l/h)	Pertes de charge (mm eau/m)	Vitesse (m/s)
15	½	15x21	21,3	16,6	2,33	295	15	0,39
20	¾	20x27	26,9	22,2	2,35	650	15	0,48
25	1	26x34	33,7	27,9	2,9	1180	15	0,58
32	1 ¼	33x42	42,4	36,6	2,9	2450	15	0,68

Canalisations en acier								
DN (mm)	DN (pouce)	Appellation	Diam. ext. (mm)	Diam. int. (mm)	Ep. (mm)	Valeurs maximales		
						Débit (l/h)	Pertes de charge (mm eau/m)	Vitesse (m/s)
40	1 ½	40x49	48,3	42,5	2,9	3680	15	0,75
50	2	50x60	60,3	53,8	3,25	6800	15	0,88
65	2 ½	70x76	76,1	70,3	2,9	13500	15	1,02

▲ Figure 4-5 : Pré-dimensionnement des canalisations en acier pour une perte de charge maximale de 15 mm eau/m (eau à 80°C)

4.3. • Calorifuge des canalisations

4.3.1. • Calcul des pertes thermiques par les canalisations

Les canalisations sont sujettes à des échanges thermiques du fait de la différence de température entre le liquide transporté et l'ambiance.

Les pertes thermiques par le liquide s'expriment à partir de la formule suivante (d'après la norme NF EN ISO 12241) :

$$\Phi = UI \times L \times \Delta\theta$$

Avec :

- Φ , les pertes thermiques par la canalisation en W ;
- UI , le coefficient de transmission thermique linéique des canalisations en W/m.K ;
- L , la longueur de canalisation en m ;
- $\Delta\theta$, l'écart entre la température moyenne de l'eau et la température ambiante en K.

Remarque : lorsque la température du liquide est inférieure à la température extérieure, l'écart est négatif.

La formule suivante peut être utilisée pour calculer le coefficient de transmission thermique d'une canalisation isolée (norme NF EN ISO 12241) :

$$UI = \frac{\Pi}{\frac{1}{2\lambda_{canalisation}} \ln \left(\frac{d_e}{d_i} \right) + \frac{1}{2\lambda_{isol}} \ln \left(\frac{d_e + 2 \times e}{d_e} \right) + \frac{1}{h_e \times (d_e + 2 \times e)}}$$

Si les échanges thermiques de la canalisation sont négligés, la formule devient :

$$Ul = \frac{\Pi}{\frac{1}{2\lambda_{isol}} \times \ln \left(\frac{d_e + 2 \times e}{d_e} \right) + \frac{1}{h_e \times (d_e + 2 \times e)}}$$

Avec :

- Ul , le coefficient de transmission thermique linéique W/m.K ;
- $\lambda_{canalisation}$, la conductivité thermique de la canalisation;
- λ_{isol} , la conductivité thermique utile de l'isolant à la température moyenne liquide/ambiance en W/m.K (prendre la conductivité thermique déclarée par le fabricant multipliée par le facteur de conversion globale de la conductivité thermique « f » défini par la norme NF EN ISO 23993) ;
- d_e , le diamètre extérieur de la canalisation en m ;
- d_i , le diamètre intérieur de la canalisation en m ;
- e , l'épaisseur d'isolant en m ;
- h_e , le coefficient d'échange superficiel pris égal à 10 W/m².K pour un calcul approché.

4.3.2. • Produits calorifuges

Sachant qu'en chauffage une canalisation non calorifugée émet de 8 à 20 fois plus de chaleur qu'une canalisation calorifugée, il est déterminant d'isoler les réseaux. Plusieurs types de produits existent, regroupés en quelques familles principales :

- les laines minérales (MW² – NF EN 14303), en coquilles ou en rouleaux ;
- les mousses élastomères flexibles (FEF – NF EN 14304), en manchons ou en rouleaux ;
- le verre cellulaire (CG – NF EN 14305) ;
- les polyuréthanes rigides et mousses de polyisocyanurate (PUR/PIR – NF EN 14308), en coquilles ;
- les mousses de polystyrène extrudé (XPS – NF EN 14307), en coquilles ;
- les mousses de polyéthylène (PEF – NF EN 14313) ;
- les mousses phénoliques (PF – NF EN 14314).

Selon leur localisation, les conduites peuvent être soumises à diverses agressions extérieures, à des chocs mécaniques...

■ 2 Les abréviations MW, FEF, PUR/PIR, XPS et PF sont les abréviations internationales des familles d'isolants présentées.

De ce fait, le choix d'un type et/ou revêtement d'isolation doit être effectué en prenant en compte ces paramètres. Par exemple, les manchons élastomères flexibles ou les coquilles de laine minérale revêtue avec une feuille d'aluminium conviennent pour des canalisations en plénium ou en gaine technique.

En chaufferie où les chocs sont plus à craindre, un revêtement en tôle, en matériau de synthèse (PVC) ou un enduit permettent de protéger l'isolant.

A l'extérieur, les revêtements adaptés sont la tôle et les enduits dédiés à cette application.

Pour les réseaux de chauffage et de refroidissement, l'isolation réduit les échanges par les canalisations. Cependant, pour les réseaux de refroidissement, l'isolant évite également tout risque de condensation sur les conduits. L'installation doit être protégée contre la migration de la vapeur d'eau. Cette fonction peut être réalisée par le biais d'un pare-vapeur ou d'un isolant spécifique disposant de cette propriété.

Ce dernier est dimensionné de sorte que la température superficielle reste supérieure au point de rosée de l'air ambiant dans les conditions de température et d'hygrométrie les plus défavorables.

4.3.3. • Réglementations et normes

Document technique uniifié

Le choix des matériaux et la mise en œuvre sont traités par le NF DTU 45.2 « Isolation thermique des circuits, appareils et accessoires de -80 à +650°C ».

Classes d'isolation

Les classes d'isolation européennes sont définies dans la norme NF EN 12828. Il existe 6 classes d'isolation, de la classe 1, la moins isolante, à la classe 6, la plus isolante. Une classe d'isolation est déterminée par une valeur maximale de la transmission linéique. Les six classes d'isolation définissent le coefficient de transmission thermique maximal à respecter selon le diamètre extérieur de la canalisation.

Les formules de calcul qui suivent sont issues de la norme NF EN 12828 (Figure 4-6). Elles permettent de déduire les épaisseurs d'isolant à mettre en œuvre en fonction de la classe d'isolation retenue et du diamètre extérieur de la canalisation.

Classe d'isolation	Coefficient de transmission thermique linéique maximal UI en W/m.K	
	Tuyauteries de diamètre extérieur $d_e \leq 0,4$ m	Tuyauteries de diamètre extérieur $d_e \geq 0,4$ m ou surfaces planes*
1	$3,3 \times d_e + 0,22$	1,17
2	$2,6 \times d_e + 0,20$	0,88
3	$2,0 \times d_e + 0,18$	0,66
4	$1,5 \times d_e + 0,16$	0,49
5	$1,1 \times d_e + 0,14$	0,35
6	$0,8 \times d_e + 0,12$	0,33

*comprend les réservoirs et autres composants avec des surfaces planes et les canalisations de grandes sections non circulaires

▲ Figure 4-6 : Détermination des épaisseurs d'isolant selon la classe d'isolation (NF EN 12828)



La Réglementation thermique

En construction neuve, la RT 2012 (arrêtés du 26 octobre 2010 et du 28 décembre 2012), contrairement à la RT 2005, n'impose aucune isolation minimale des conduits, tant en chauffage qu'en production d'ECS et refroidissement. Les échanges thermiques doivent toutefois être limités afin que le transport des fluides ne dégrade pas les performances visées et empêche la condensation sur les réseaux d'eau glacée.

Afin d'orienter les bureaux d'études, le tableau de la (Figure 4-7) donne les classes minimales préconisées.

Quelle que soit la classe de performance retenue, les prescripteurs doivent veiller à ce que l'écartement entre les réseaux et le bâti permettent d'installer l'isolant.

Type de réseau	Type de local	Classes d'isolation minimales préconisées dans les bâtiments neufs
Chauffage et eau chaude sanitaire	Hors volume chauffé	3
	En volume chauffé	2
Eau glacée	Hors volume chauffé	4
	En volume chauffé	4

▲ Figure 4-7 : Classes d'isolation minimales préconisées

En rénovation, la RT « Existant » (arrêtés du 3 mai 2007 et du 13 juin 2008) fournit des classes d'isolation minimale. Les valeurs de la (Figure 4-7) sont toutefois conseillées.

Quelques remarques :

- les pertes thermiques d'une boucle d'eau chaude sanitaire sont généralement élevées au regard des besoins. Aussi, est-il conseillé de mettre en œuvre une épaisseur d'isolant importante afin de limiter au maximum ces dernières ;

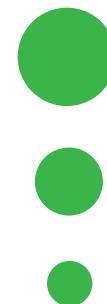
- à titre informatif, le tableau de la (Figure 4-8) présente les gains énergétiques qu'entraîne le passage à une classe d'isolation supérieure pour un diamètre extérieur de tuyauterie de 100 mm ;
- les classes d'isolation préconisées et réglementaires s'appliquent aux canalisations. Cependant, sauf spécification contraire, le niveau d'isolation de tout composant (vannes, réservoirs...) doit être au moins égal à celui de la tuyauterie avoisinante ;
- les prescripteurs qui visent les bâtiments à haute performance peuvent proposer des classes supérieures à celles préconisées (Figure 4-7).

Passage	Gains énergétiques (%)
d'une classe 2 à 3	17,4
d'une classe 2 à 4	32,6
d'une classe 3 à 4	18,4

▲ **Figure 4-8 :** Exemple de gains énergétiques apportés par un changement de classe d'isolation (canalisation de 100 mm de diamètre extérieur)

5

Les dispositifs de découplage



Un dispositif de découplage permet d'éviter les phénomènes d'interférences hydrauliques entre les circuits production et distribution. Il assure l'indépendance des débits.

Il est nécessaire dans des cas suivants :

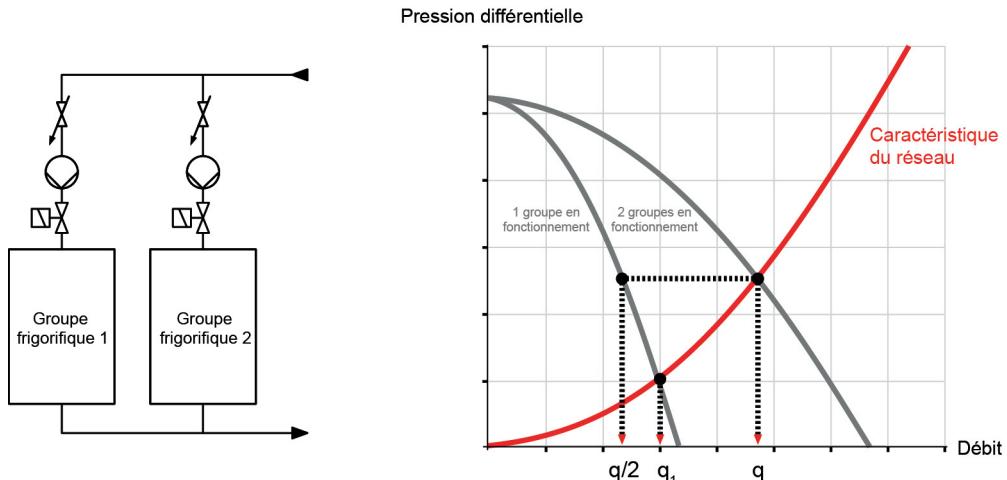
- Lorsque la distribution est à débit variable (présence de vannes à deux voies de régulation terminale par exemple) et qu'un débit constant est requis dans la production (groupes frigorifiques, pompes à chaleur ou certains modèles de chaudières) ;
- En présence d'une incompatibilité de débit entre la production et la distribution due par exemple à des chutes de température nominale différentes.

L'exemple de la (Figure 5-1) montre qu'un découplage s'impose même dans le cas de deux groupes frigorifiques équipés d'un circulateur individuel raccordés en direct à une distribution à débit constant.

En effet, le groupe 1 qui est parcouru par le débit q_1 , lorsqu'il fonctionne seul voit son débit chuter à $q/2$ lorsque le groupe 2 est mis en fonctionnement. Le débit n'est donc pas maintenu constant dans ce groupe.

Le graphe représente la caractéristique de pertes de charge de la distribution, celle du circulateur d'un groupe (sans les pertes de charge du groupe et de son circuit de raccordement) et celle des deux groupes en parallèle et de leurs circulateurs. Pour simplifier, il a été considéré deux groupes identiques présentant donc des pertes de charge et des circulateurs identiques.

Le groupe 1 est irrigué par son débit nominal q_1 , lorsqu'il est seul en fonctionnement. La mise en marche du groupe 2 et du circulateur 2 induit un débit q dans la production qui se répartit en un débit de moitié dans chacun des groupes.



▲ Figure 5-1 : Mise en évidence du phénomène d'interférence hydraulique dans deux groupes frigorifiques équipés d'un circulateur individuel



5.1. • Les règles communes

Le dispositif de découplage peut être :

- un bipasse (cf. 5.2) ;
- une bouteille de découplage (cf. 5.3) ;
- un collecteur-distributeur en court-circuit (cf. 5.4).

Le cas des volumes tampons à quatre piquages est décrit en chapitre 6 (cf. 6).

Le découplage doit être caractérisé par une faible perte de charge afin de limiter toute variation de débit.

Quel que soit le découplage choisi, il implique la mise en place d'un (ou de plusieurs) circulateur(s) sur la production et d'un (ou de plusieurs) circulateur(s) sur la distribution.

Pour assurer un découplage entre la production et la distribution, le débit au primaire doit toujours être supérieur au débit (ou à la somme des débits) au secondaire afin d'assurer une température de distribution identique à la température en sortie de production. Si l'inverse se produit, il y a recyclage d'eau de retour de la distribution et mélange avec l'eau produite par la production. La température en entrée de distribution n'est plus assurée. On parle de phénomène de « retour inverse ».

Un surdébit au primaire de l'ordre de 10 à 20% est recommandé.

Cette règle s'applique également à charge partielle, par exemple lorsqu'un seul générateur est en fonctionnement.

La mise en place d'un dispositif de découplage permet d'assurer une bonne autorité des vannes de régulation en place sur les circuits de distribution (cf. 2.3.3).



Note

Un dispositif de découplage n'est pas indiqué dans le cas d'une chaudière à condensation car il engendre un recyclage d'eau chaude et une élévation de la température en entrée de chaudière qui n'est pas favorable à sa performance.

5.2. • Bipasse lisse

Le bipasse lisse constitue le moyen de découplage le plus simple. Il s'applique en particulier lorsqu'un seul circuit utilisateur est raccordé.

Le bipasse est placé en position verticale, avec les raccordements chauds en haut et froids en bas.

Son diamètre est identique à celui des canalisations raccordées et sa longueur est supérieure à 6 diamètres pour éviter tous phénomènes de turbulences.

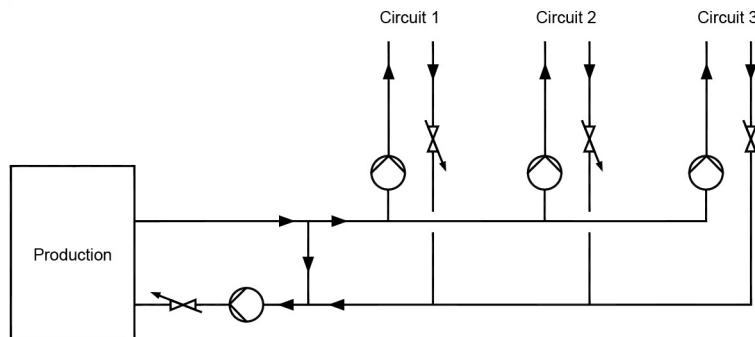
La mise en place d'un organe de réglage sur le bipasse n'est pas utile et même contre-indiquée car il crée une perte de charge qui induit une variation du débit et amoindrit le phénomène de découplage.

Comme le montre la (Figure 5-2), le bipasse est parcouru par la différence entre le débit au primaire et le débit au secondaire. Le débit est donc descendant dans le bipasse, le débit primaire étant supérieur au débit secondaire pour assurer un découplage.

Dans le cas d'une installation travaillant alternativement en chaud et en froid, un bipasse en U est utilisé (cf. 5.4).

Note

Sur une installation de plancher chauffant, par exemple, le bipasse peut être utilisé pour assurer un mélange. Dans ce cas, le débit au primaire doit être inférieur au débit secondaire afin de recycler de l'eau à température plus basse de sortie de plancher qui est mélangée en partie haute du bipasse avec de l'eau à la température de la production. Ce schéma est décrit en chapitre 11.3 (cf. 11.3).



▲ Figure 5-2 : Bipasse de découplage en place sur une installation

5.3. • Bouteille de découplage

Outre les fonctions assurées par un bipasse, la bouteille de découplage permet :

- le raccordement simplifié de plusieurs circuits secondaires ;
- le dégazage et la décantation.

Comme pour un bipasse, la bouteille de découplage est disposée verticalement avec les raccords les plus chauds en haut et les plus froids en bas.

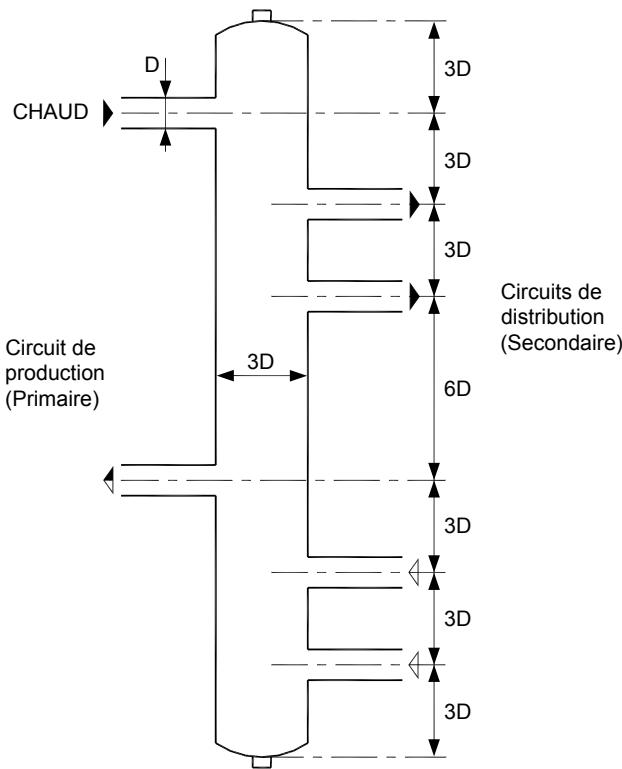
Le dimensionnement d'une bouteille de découplage s'effectue traditionnellement selon la règle dite des « 3D » qui consiste à respecter (Figure 5-3) :

- un diamètre de bouteille supérieur ou égal à 3 fois le plus gros diamètre raccordé ;
- une hauteur de bouteille déterminée par un écartement de 3 diamètres entre les canalisations ;
- un décalage de 3 diamètres entre la canalisation d'arrivée d'eau en provenance de la production et la canalisation de départ secondaire ;
- une distance de 3 diamètres entre la canalisation haute et le sommet de la bouteille ;
- une distance de 3 diamètres entre la canalisation basse et le bas de la bouteille ;
- une distance de 6 diamètres séparant les raccords chauds (départs secondaires) des raccords froids (retours secondaires).

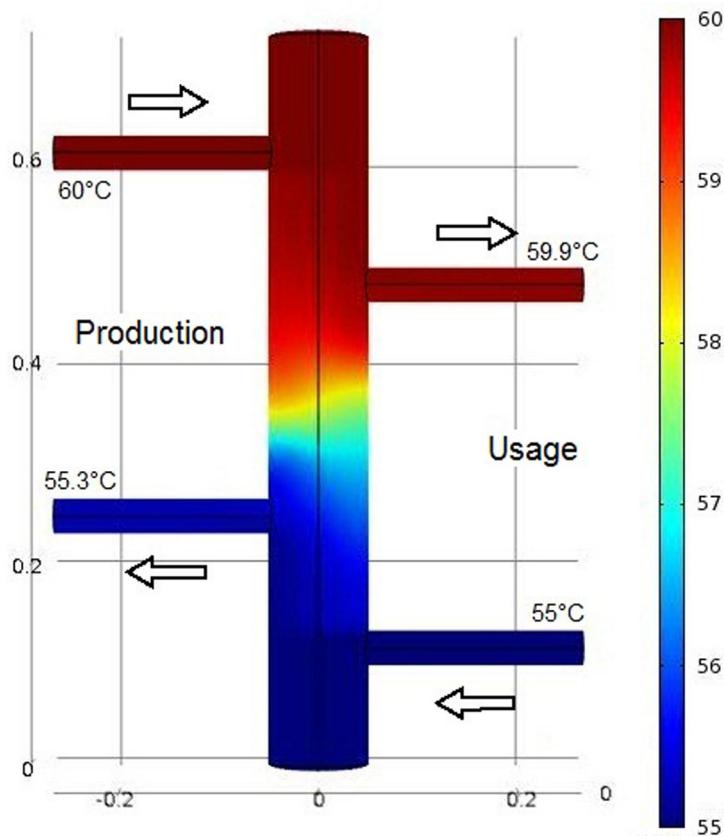
La (Figure 5-4) met en évidence le phénomène de stratification dans la bouteille qui permet d'obtenir une température au départ du circuit usage quasiment identique à la température de la production. La simulation est menée pour un surdébit au primaire de 10 %.

Note

Les phénomènes de stratification importants dans la bouteille de découplage sont dus principalement au rapport hauteur sur diamètre élevé qui est de 6 sur une bouteille de découplage. Le décalage des canalisations a un impact assez limité sur ce phénomène.



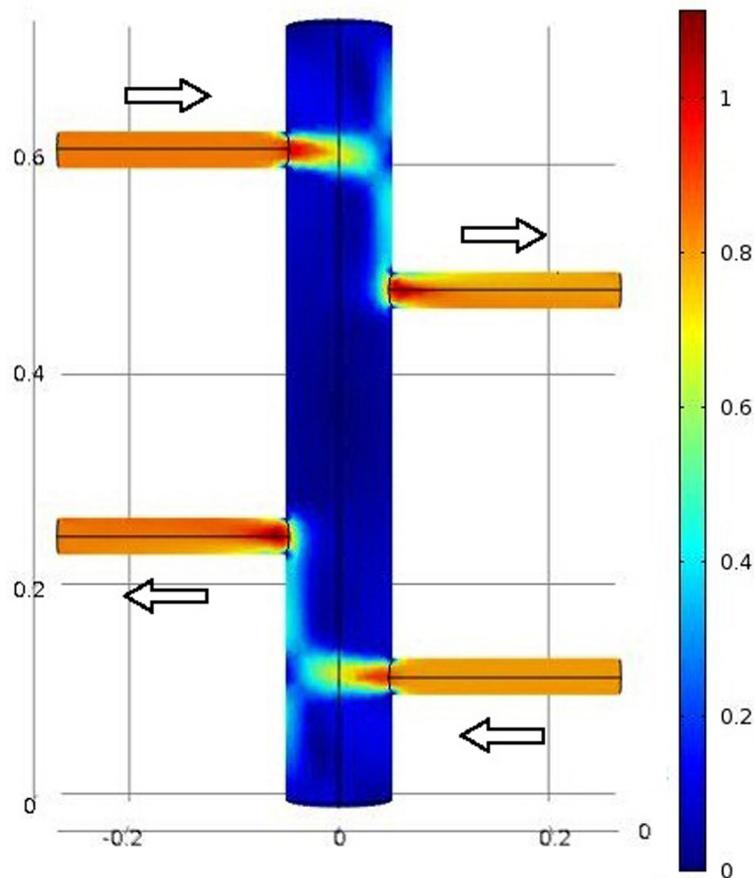
▲ Figure 5-3 : Bouteille de découplage dimensionnée selon la règle des « 3D »



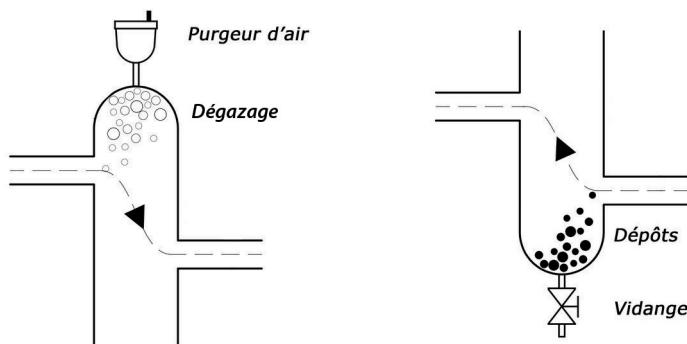
▲ Figure 5-4 : Simulation de la répartition des températures dans une bouteille de découplage (surdébit de 10 % au primaire)

Le dimensionnement induit des vitesses faibles (inférieures à 0,1 m/s) au sein de la bouteille qui favorisent le dégazage et la décantation (Figure 5-5). La bouteille est donc propice à l'installation d'un purgeur

en partie supérieure pour évacuer les bulles de gaz et d'un dispositif de récupération des dépôts en partie basse (Figure 5-6).



▲ Figure 5-5 : Simulation de la répartition des vitesses (en m/s) dans une bouteille de découplage (surdébit de 10 % au primaire)



▲ Figure 5-6 : Phénomènes de dégazage et de décantation au sein d'une bouteille de découplage

Sur les installations de production de froid, les écarts de température entre le départ et le retour étant faibles, de 5 K pour un régime 7-12°C, les différences de masse volumique sont elle-même faibles et des risques de circulations parasites d'eau dans la bouteille sont à craindre. Il semble qu'elles soient à l'origine d'une « élévation » pénalisante de la température de départ d'eau glacée par des mélanges d'eau de retour.

Les avantages de dégazage en partie haute et de décantation en partie basse de la bouteille en chauffage sont moindres en froid. Compte

tenu des niveaux de température, le dégagement de gaz est quasi inexistant. L'effet de décantation est toujours présent puisque les vitesses sont faibles dans la bouteille mais l'embouage est limité sur les réseaux d'eau glacée.

Par ailleurs, la bouteille de découplage présente pour principaux inconvénients son encombrement important en local technique, son coût de réalisation et sa nécessité de calorifuge.

Les bipasses et les collecteurs-distributeurs en court-circuit sont mieux adaptés aux installations d'eau glacée.

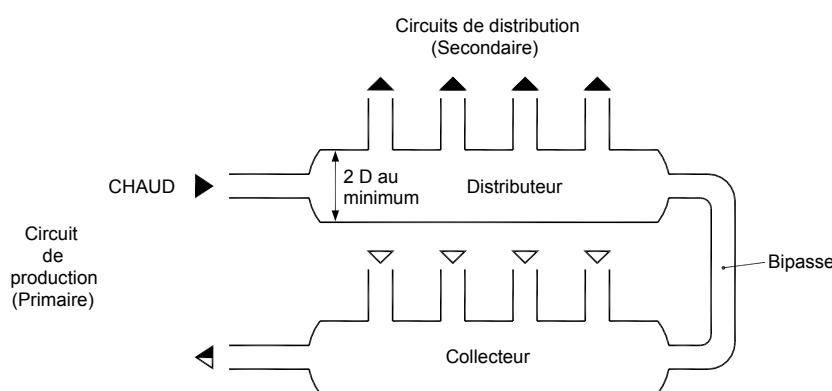
5.4. • Collecteur-distributeur en court-circuit

Le collecteur-distributeur en court-circuit est choisi lorsque le nombre de canalisations à raccorder conduit à une hauteur de bouteille trop importante ou lorsque la disposition des raccordements ne s'adapte pas aisément à la disposition d'une bouteille verticale. Le distributeur sert au raccordement des départs et le collecteur à celui des retours.

Ce dispositif s'apparente à une bouteille de découplage, mais n'assure pas les fonctions de dégazage et décantation. Le débit au primaire doit toujours être supérieur à la somme des débits secondaires.

L'ensemble distributeur-collecteur est installé horizontalement.

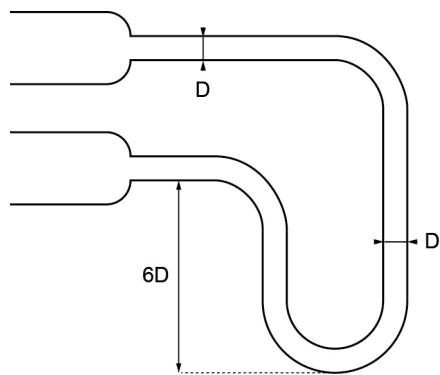
Comme l'illustre la (Figure 5-7), il est recommandé un diamètre de collecteur et de distributeur de deux fois le plus gros diamètre des canalisations raccordées.



▲ Figure 5-7 : Collecteur-distributeur en court-circuit

En chaud, le distributeur est placé en haut et inversement en froid. Lorsque ces montages ne sont pas possibles ou lorsque l'installation est alimentée alternativement en chaud et en froid, une disposition avec un bipasse en U peut être adoptée (Figure 5-8). Une telle configuration permet de s'affranchir de l'obligation de disposer les départs chauds en haut et froids en bas.

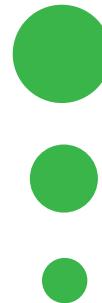
Il est conseillé une longueur des bras du U d'au minimum six diamètres et un diamètre identique au plus gros diamètre de canalisation raccordée.



▲ Figure 5-8 : Bipasse en U

6

Les volumes tampons



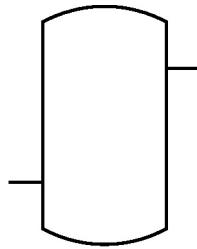
Les volumes tampons ont pour fonction principale le stockage de l'énergie. Ils sont souvent associés à des installations de pompes à chaleur, de production de froid ou de chauffage au bois pour garantir leur bon fonctionnement.

Dans le cas de pompes à chaleur ou de groupes frigorifiques, les constructeurs spécifient le volume d'eau minimal auquel doit être raccordée la machine. Il permet d'assurer une inertie suffisante et de maintenir un temps de fonctionnement minimal du compresseur, évitant les phénomènes de courts-cycles. Un volume tampon se justifie lorsque le volume du réseau est insuffisant.

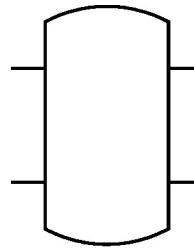
Pour des installations bois, on parle de ballon d'hydroaccumulation. Il sert à conserver un rendement de l'appareil satisfaisant et à éviter les inconforts par surchauffes.

Il existe deux configurations de volumes tampons (Figure 6-1) :

- les volumes tampons à deux piquages placés en série ;
- les volumes tampons à quatre piquages placés en parallèle.



Volume tampon à deux piquages



Volume tampon à quatre piquages

▲ Figure 6-1 : Volumes tampons à deux et quatre piquages

Note

La conception et le dimensionnement des volumes tampons sont traités dans un rapport du programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 ».

Note

Il est important que toute la surface du volume tampon soit calorifugée. En effet, les pertes thermiques peuvent être multipliées par trois si le fond du volume tampon n'est pas isolé (par rapport au même volume entièrement calorifugé).

Penser à isoler du sol les supports de pose des volumes tampons : patins, supports en matériaux conducteurs...

Par ailleurs, il convient d'isoler les raccordements connectés et d'utiliser des bouchons isolés dans le cas où ils ne sont pas utilisés.

6.1. • Les volumes tampons à deux piquages

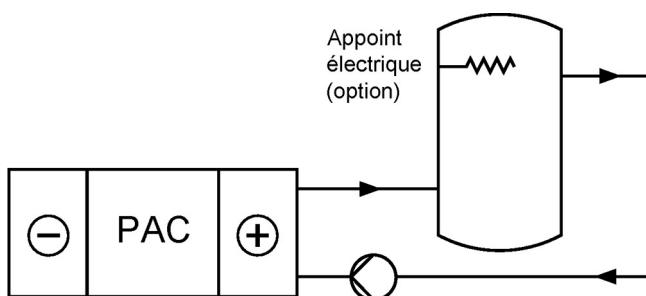
Des indications d'implantation des volumes tampons à deux piquages sont précisées pour les applications de pompes à chaleur, groupes frigorifiques et installations bois.

Pompes à chaleur

L'implantation du volume tampon à deux piquages en sortie de pompe à chaleur (Figure 6-2) est recommandée afin de limiter les incidences du dégivrage par inversion de cycle du compresseur qui font chuter la température en sortie de pompe à chaleur et donc au départ du circuit distribution.

Cet emplacement s'impose également si le volume tampon intègre un appoint électrique. Dans ce cas particulier, une implantation en entrée de pompe à chaleur ne permet pas d'assurer la priorité de fonctionnement de la pompe à chaleur et l'élévation de température en entrée de machine risque d'engendrer des cycles courts et donc des dysfonctionnements.

Il est préférable de réaliser l'entrée dans le volume tampon en partie basse et la sortie en partie haute pour favoriser une montée en température plus rapide de l'installation. La stratification permet un départ vers l'installation plus chaud. De plus, les vitesses en partie haute du volume tampon sont propices à l'installation d'un purgeur d'air.

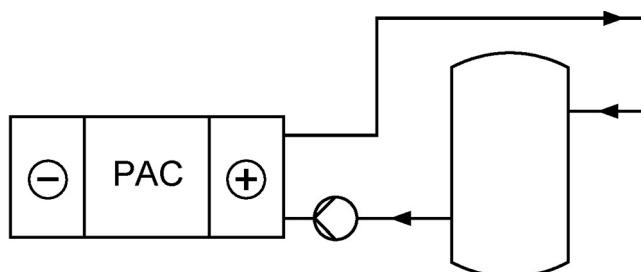


▲ Figure 6-2 : Schéma de principe d'implantation du volume tampon à deux piquages en sortie de pompe à chaleur

Si le dégivrage est assuré par un autre moyen que l'inversion de cycle, tel que l'injection de gaz chauds, le volume tampon peut être implanté en entrée de la pompe à chaleur (Figure 6-3), à condition qu'il n'intègre pas d'appoint électrique (cas des pompes à chaleur géothermiques).

A cet endroit, les pertes thermiques du volume tampon sont réduites et la température en entrée de pompe à chaleur est plus stable, ce qui est favorable à la régulation lorsqu'elle porte sur cette grandeur. Par ailleurs, la température en entrée du circuit distribution est identique à la température de sortie de pompe à chaleur en l'absence de volume tampon en sortie de pompe à chaleur.

Dans ce cas, l'entrée dans le volume tampon devra de préférence être en partie haute et la sortie en partie basse afin de favoriser la stratification dans le volume tampon et donc d'améliorer les performances de l'unité par un retour plus froid lors de la montée en température de l'installation.



▲ Figure 6-3 : Schéma de principe d'implantation du volume tampon à deux piquages en sortie de pompe à chaleur

Groupes frigorifiques

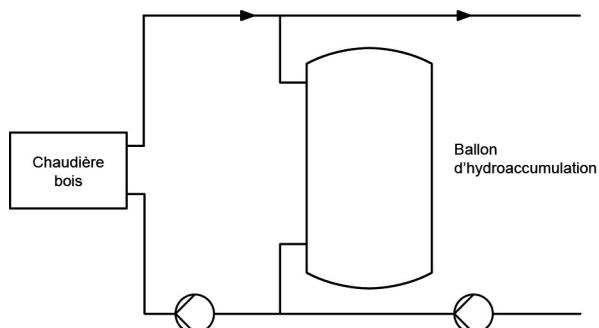
Le volume tampon à deux piquages peut être placé en série sur le retour chaud du circuit de production. En effet, la régulation du groupe frigorifique porte généralement sur la mesure de la température de retour. Aussi, un raccordement vers le groupe frigorifique en partie basse du ballon permet d'éviter des courts-cycles du groupe frigorifique du fait d'une mesure de température plus faible. Un raccordement de la capacité tampon sur l'aller se justifie dans le cas où l'on privilégie la production de froid en cas de coupure électrique. Le ballon peut alors pallier les besoins pendant un laps de temps assez court – selon les besoins de l'installation et sa capacité.

Installations bois

Couplé aux systèmes où une forte stratification est recherchée, le volume tampon à deux piquages monté en hydroaccumulation bois est à préférer (Figure 6-4).

En effet, le montage du volume tampon à deux piquages dans cette configuration permet de découpler la partie production et la partie distribution tout en évitant les phénomènes parasites. Ce stockage est nécessaire dans le cas d'un générateur au bois car l'énergie dégagée par la combustion doit pouvoir être dissipée (puis réutilisée), même en absence de besoin. De plus, lorsque les circulateurs des circuits sont en fonctionnement, les vitesses au sein du volume tampon sont réduites et la stratification est augmentée. Enfin, la température de l'eau en entrée de distribution est égale à la température de l'eau en sortie de production lorsque le débit dans la production est supérieur au débit dans la distribution.

Par rapport au volume tampon à quatre piquages, ce montage permet une meilleure stratification car la circulation de fluide au sein du volume tampon ne se fait que dans un seul sens (une entrée et une sortie) et est plus faible lorsque les circuits production et distribution fonctionnent simultanément (le débit dans le volume tampon est alors égal à la différence des débits de production et de distribution).

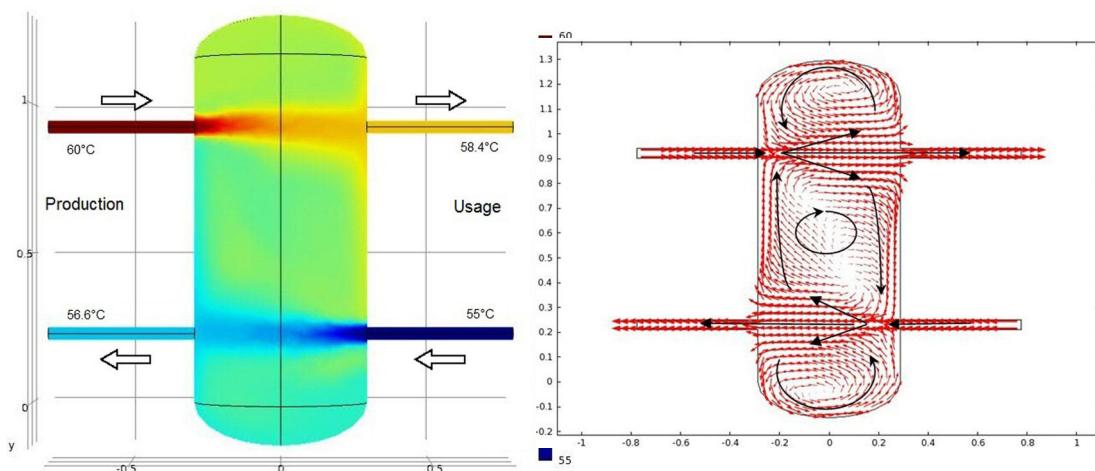


▲ Figure 6-4 : Schéma de principe d'un volume tampon à deux piquages monté en hydroaccumulation bois

6.2. • Les volumes tampons à quatre piquages

Les phénomènes qui se produisent dans les volumes tampons à quatre piquages induisent systématiquement une température en entrée du circuit distribution inférieure à la température de sortie de production introduite dans le volume tampon, comme le montre la (Figure 6-5).

L'écart de température observé entre la sortie production (60°C) et l'entrée du circuit distribution ($58,4^{\circ}\text{C}$) est de l'ordre de 1,5 K.



▲ Figure 6-5 : Simulations de la répartition des températures (à gauche) et des vecteurs vitesses (à droite) dans un volume tampon à quatre piquages (surdébit de 10 % au primaire)



Les évolutions de température et de vecteurs vitesses³ mettent en évidence une zone centrale dans laquelle un phénomène de « bi-circulation » se produit. Le jet entrant côté production impacte la paroi opposée et se dirige vers le jet entrant côté distribution situé en bas du volume tampon : l'eau « chaude » en provenance de la production réchauffe directement l'eau « froide » en provenance de la distribution dès son entrée dans le volume tampon. Le jet entrant côté distribution impacte, quant à lui, la paroi opposée et se dirige vers le jet entrant côté production situé en haut du volume tampon : l'eau « froide » issue de la distribution refroidit directement l'eau « chaude » de la production dès son entrée dans le volume tampon.

Dans le cas des pompes à chaleur, il est conseillé d'associer le volume tampon à quatre piquages à une régulation spécifique permettant de commander les circulateurs primaire et secondaire selon la température du volume tampon afin de maintenir une performance optimale de la pompe à chaleur.

Note

Les volumes tampons à quatre piquages présentent l'avantage d'assurer le découplage entre la production et le réseau de distribution (cf. 5).

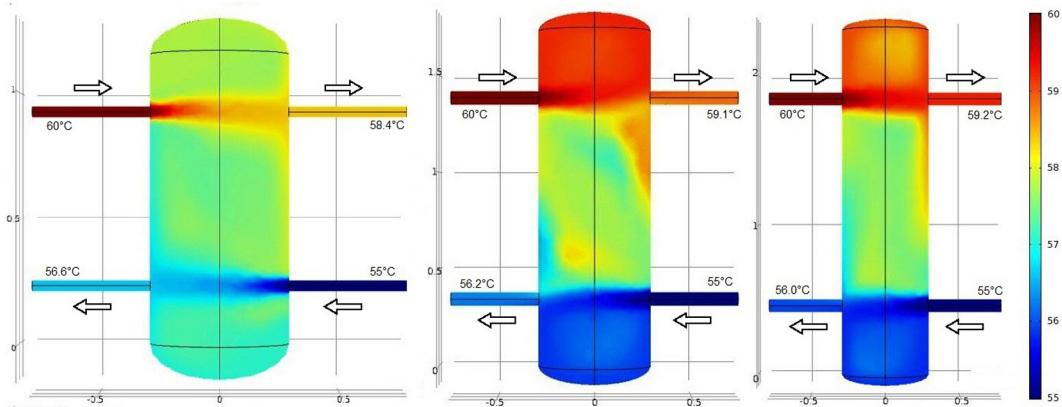


Lorsque l'abaissement de température au départ de la distribution n'est pas acceptable, il est conseillé de remplacer le volume tampon à quatre piquages par un volume tampon à deux piquages, associé à un bipasse si un découplage est nécessaire.

Quelques règles à respecter :

- maintenir un débit au primaire supérieur au débit au secondaire, comme dans une bouteille de découplage (cf. 5.3). Le surdébit au primaire ne doit toutefois pas être trop prononcé car il engendre un phénomène de brassage indésirable du volume tampon et des consommations électriques supérieures du circulateur. Une plage de surdébit de 10 à 30 % semble être un bon compromis.
- adopter un rapport hauteur sur diamètre supérieur ou égal à 3 afin de favoriser la stratification au sein du volume tampon et d'éviter les effets de brassage entre les différentes strates de températures. Il permet de limiter l'abaissement de température en sortie de volume tampon (en entrée du circuit distribution). Comme le montre la (Figure 6-6), avec un rapport hauteur sur diamètre de 3, la température en entrée de circuit distribution est de 59,1°C alors qu'elle est de 58,4°C avec un rapport de 2, pour une température de production de 60°C.

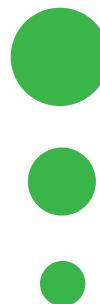
■ 3 Les graphes sont extraits du rapport « Conception et dimensionnement des volumes tampons » du programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 ».



▲ **Figure 6-6 :** Simulation de la répartition des températures dans un volume tampon à quatre piquages (surdébit de 10 % au primaire) pour différentes valeurs du rapport hauteur sur diamètre (à contenance identique) : 2 à gauche, 3 au centre et 4 à droite

7

Les dispositifs d'expansion



Cette partie traite des vases d'expansion fermés (cf. 7.1) et décrit les groupes de maintien de pression (cf. 7.4). Les vases d'expansion ouverts ne sont pas traités.

7.1. • Les vases d'expansion fermés

7.1.1. • Description

Le vase d'expansion fermé a pour rôle d'absorber la dilatation de l'eau du circuit lors des montées en température et ainsi de contrôler sa pression.

Comme le montre la (Figure 7-1), il est associé à une ou plusieurs soupapes de sécurité qui protègent l'installation en cas de surpressions accidentelles et servent à l'évacuation de vapeur.

A l'intérieur du vase, la séparation entre l'eau du circuit et le gaz (généralement l'azote) est assurée soit par une membrane soit par une vessie. Dans le cas d'une vessie, l'eau n'est pas en contact avec le métal, évitant ainsi tout risque de corrosion du réservoir.

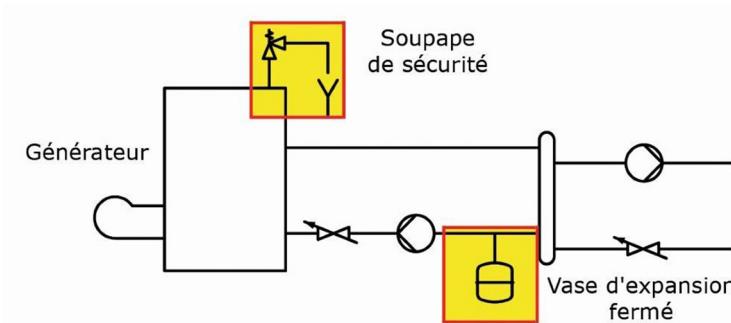
Le vase d'expansion est, de préférence :

- installé sur la canalisation de retour au générateur afin que la membrane ou la vessie soit soumise aux températures les plus faibles ;
- raccordé en amont du circulateur, le cas échéant. Cet emplacement permet de maintenir l'ensemble du réseau en surpression pour éviter les infiltrations d'air, notamment au niveau des purgeurs.

Il est recommandé de laisser un espace suffisant pour le contrôle de la pression de gonflage (en dessous du vase pour les modèles à membrane) et éventuellement pour permettre le remplacement de la vessie.

Le vase d'expansion et sa canalisation de raccordement au circuit ne doivent pas être calorifugés.

Les déplacements d'eau dans le vase, au gré des variations de la pression, peuvent entraîner des dépôts de boues dans le vase. La disposition du conduit de raccordement ne doit pas favoriser ces dépôts.



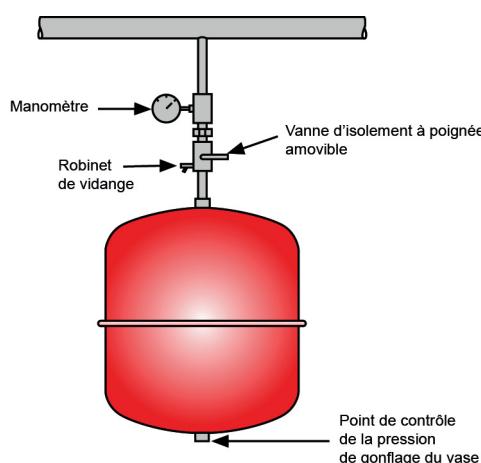
▲ Figure 7-1 : Exemple de vase d'expansion fermé en place sur une installation de chauffage

Pour contrôler la pression de gonflage du vase, il est utile de l'équiper d'une vanne d'isolement et d'un robinet de vidange (Figure 7-2) qui permettent de le mettre à la pression atmosphérique. Le vase peut ainsi être contrôlé sans dépose. Le manomètre représenté sur la figure sert à contrôler la pression de remplissage de l'installation.

Il est d'usage, afin d'éviter toute intervention d'une personne non qualifiée, d'ôter la poignée de manœuvre de la vanne en dehors des mesures.



L'installation d'une vanne d'isolement sur la canalisation de raccordement du vase est autorisée par les normes NF EN 12828 et NF DTU 65.11.



▲ Figure 7-2 : Equipement d'un vase d'expansion fermé

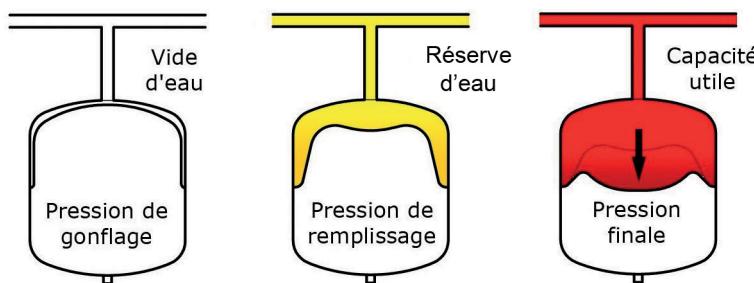


7.1.2. • Différentes phases de fonctionnement

Les différents états d'un vase d'expansion fermé (décris pour un vase à membrane) sont les suivants (Figure 7-3) :

- avant le remplissage en eau de l'installation, la **pression de gonflage** dans le vase est telle que la membrane est plaquée contre la paroi haute. La pression de gonflage doit être supérieure à la pression statique de l'installation de façon à ce que, à froid, l'eau n'entre pas dans le vase et que le volume soit maximal pour absorber la dilatation de l'eau.
- lors du remplissage, la **pression de remplissage** de l'installation doit être supérieure à la pression de gonflage du vase. Dans ces conditions une petite réserve d'eau est constituée. La pression de remplissage est réglée à froid à l'aide d'un manomètre. Elle est d'environ 0,2 bar de plus que la pression de gonflage.
- pendant la montée en température, la dilatation de l'eau comprime le gaz dans le vase. La membrane est mise en mouvement. Le volume occupé par le gaz diminue au fur et à mesure que la température de l'eau augmente. A la température maximale de fonctionnement de l'installation, l'eau occupe tout le volume utile. La **pression finale** est atteinte.

La pression finale doit être inférieure à la pression de tarage des soupapes de sécurité afin qu'elles ne s'ouvrent pas en fonctionnement normal de l'installation. En règle générale, on considère une pression finale de 90 % de la pression de tarage des soupapes.



▲ Figure 7-3 : Les différents états de fonctionnement d'un vase d'expansion fermé

7.1.3. • Eléments de dimensionnement

Le dimensionnement d'un vase d'expansion consiste à déterminer :

- sa pression de gonflage
- sa capacité

Les fabricants proposent des vases d'expansion pour différentes capacités (par exemple : 25, 50, 80, 100, 150, 200 litres) et à différentes pressions de gonflage (de 0,5 en 0,5 bar soit, par exemple, 0,5 – 1 – 1,5 – 2 bar).

Un sous-dimensionnement du vase d'expansion provoque des ouvertures fréquentes des soupapes de sécurité lors des montées en température qui conduisent à introduire de l'eau dans le circuit (ces apponts sont une des premières causes de corrosion et donc d'embouage).

En effet :

- **Si la pression de gonflage du vase est insuffisante** : au moment du remplissage de l'installation, à froid, le volume d'eau est déjà important dans le vase. Le volume utile du vase qui va pouvoir recueillir la dilation de l'eau est réduit. Par conséquent, lors des montées en température, la dilatation de l'eau ne peut être absorbée. La pression augmente dans l'installation et dépasse la pression de tarage des soupapes.
- **Si la capacité du vase est insuffisante** : le volume utile du vase est alors plus faible que nécessaire pour absorber la totalité du volume d'expansion. Lors de la montée en température, le volume utile du vase se remplit avant que la température maximale soit atteinte. La pression augmente et les soupapes s'ouvrent.

Note

Un vase surdimensionné n'est jamais préjudiciable au fonctionnement de l'installation. Cependant, une capacité ou une pression de gonflage inutilement élevées engendrent un coût d'achat supérieur et un encombrement plus important.

7.2. • Dimensionnement d'un vase d'expansion en chauffage

Le dimensionnement des vases d'expansion des installations de chauffage est traité dans les normes NF EN 12828 et NF DTU 65.11.

La détermination de la pression de gonflage et de la capacité du vase nécessite de connaître :

- la contenance en eau de l'installation ;
- la température d'eau moyenne maximale ;
- la hauteur statique de l'installation ;
- la pression de tarage des soupapes de sécurité.

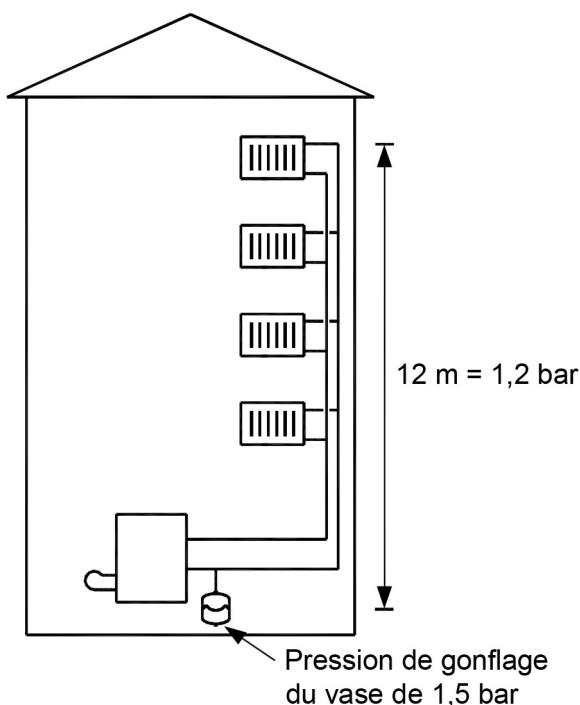
Pression de gonflage

Comme indiqué plus haut (cf. 7.1.2), la pression de gonflage du vase doit être supérieure à la pression statique de l'installation pour que, à froid, l'eau n'entre pas dans le vase.

La pression statique équivaut à la hauteur statique de l'installation depuis le vase d'expansion jusqu'au point le plus élevé du circuit de chauffage. Sachant que 1 m de colonne d'eau est proche de 0,1 bar.

On considère généralement une pression de gonflage correspondant à la pression statique de l'installation arrondie au 0,5 bar supérieur.

Dans l'exemple de la (Figure 7-4), la hauteur du bâtiment est de 12 m soit 1,2 bar. Une pression de gonflage est de 1,5 bar est choisie.



▲ Figure 7-4 : Détermination de la pression de gonflage du vase d'expansion selon la hauteur de l'installation

Note

Si le vase d'expansion est en partie haute (chaufferie en terrasse par exemple), la pression de gonflage est de 0,5 bar, sauf si une pression de fonctionnement minimale des générateurs est spécifiée par le fabricant.

Volume d'expansion

Le volume d'expansion correspond au volume de dilatation du liquide circulant dans l'installation. Il est fonction de la température moyenne maximale de l'installation.

Le tableau de la (Figure 7-5) fournit le coefficient de dilatation en considérant que l'installation est remplie avec de l'eau à 10°C, sans antigel.

Par exemple, pour une contenance d'installation de 2000 litres et un régime 80/60°C, le volume d'expansion est de : $2000 \times 0,0224$ soit 45 litres.

Température de l'eau (°C)	Coefficient de dilatation (%) pour un remplissage à 10°C
80	2,87
75	2,55
70	2,24
65	1,96

Température de l'eau (°C)	Coefficient de dilatation (%) pour un remplissage à 10°C
60	1,68
55	1,42
50	1,18
45	0,96

▲ Figure 7-5 : Coefficients de dilatation de l'eau selon la température

La contenance en eau de l'installation est constituée des volumes contenus dans les canalisations et les composants du circuit hydraulique.

Elle peut être :

- calculée à partir des longueurs et diamètres de canalisations et des volumes des composants (générateurs, émetteurs, ballons, échangeurs...) fournis dans les notices techniques ;
- estimée en fonction de la puissance de l'installation et du type d'émetteurs. En première approche, il peut être considéré un volume de 14 litres par kW pour une installation de radiateurs et de 12 litres par kW pour des planchers chauffants.

Les tableaux des (Figure 7-6), (Figure 7-7) et (Figure 7-8) fournissent les volumes par mètre de canalisation selon le matériau.

Des valeurs de contenance en eau des différents types de radiateurs sont données en (Figure 7-9).

La contenance en eau de l'installation peut être mesurée au moment du remplissage si un compteur est installé sur l'alimentation en eau.

Note

La mise en place d'un compteur sur l'alimentation en eau est conseillée afin de connaître la contenance en eau de l'installation. Il permet aussi de contrôler les appoints d'eau à l'origine de phénomènes de corrosion, d'entartrage et d'embouage.

Canalisations en matériau de synthèse					
DN (mm)	DN (pouce)	Appellation	Diam ext. (mm)	Diam. int. (mm)	Contenance (l/m)
-	-	16x1,5	16	13	0,13
-	-	20x1,9	20	16,2	0,21
-	-	25x2,3	25	20,4	0,33
-	-	32x2,9	32	26,2	0,54
-	-	40x3,7	40	32,6	0,83
-	-	50x4,6	50	40,8	1,31
-	-	63x5,8	63	51,4	2,07
-	-	75x6,8	75	61,4	2,96

▲ Figure 7-6 : Contenance en eau des canalisations en matériau de synthèse pour les diamètres standards



Canalisations en cuivre					
DN (mm)	DN (pouce)	Appellation	Diam ext. (mm)	Diam. int. (mm)	Contenance (l/m)
14	-	16x1	16	14	0,15
16	-	18x1	18	16	0,20
18	-	20x1	20	18	0,25
20	-	22x1	22	20	0,31
26	-	28x1	28	26	0,53
30	-	32x1	32	30	0,71
34	-	36x1	36	34	0,91
36	-	38x1	38	36	1,02
38	-	40x1	40	38	1,13
40	-	42x1	42	40	1,26

▲ Figure 7-7 : Contenance en eau des canalisations en cuivre pour les diamètres standards

Canalisations en acier					
DN (mm)	DN (pouce)	Appellation	Diam ext. (mm)	Diam. int. (mm)	Contenance (l/m)
15	½	15x21	21,3	16,6	0,22
20	¾	20x27	26,9	22,2	0,39
25	1	26x34	33,1	27,9	0,61
32	1 ¼	33x42	42,7	36,9	1,07
40	1 ½	40x49	48,3	42,5	1,42
50	2	50x60	60,3	53,8	2,27
65	2 ½	70x76	76,1	70,3	3,88

▲ Figure 7-8 : Contenance en eau des canalisations en acier pour les diamètres standards

Types d'émetteur	variante	matériaux	Contenance en eau (l/kW)
Radiateur type lamella	-		6,6
Radiateur panneau simple	simple	Acier	5,1
	double		4,3
	triple		3,6
Radiateur tubulaire	1 colonne	Acier	7,1
	2 colonnes		11,6
	4 colonnes		13,9
	6 colonnes		14,5
Radiateur tube plats	simple		7,1
	double		7,0
Radiateur plinthe	ep. environ 150 mm		3,6
	ep. environ 300 mm		3,0
Radiateur sèche serviette	-	Aluminium	3,0
Radiateur standard	-		3,3
Radiateur sèche serviette	-		9,8
Radiateur colonne	4 colonnes	Fonte	8,9
	5 colonnes		8,8

▲ Figure 7-9 : Contenance en eau des différents types de radiateurs

Capacité du vase

La capacité du vase doit être telle qu'elle puisse recueillir le volume d'expansion de l'installation. Or, le volume d'eau absorbé par le vase, encore appelé volume utile, ne peut pas occuper la totalité de la capacité du vase. Le volume utile est fonction des limites de pression entre lesquelles travaille le vase.

La capacité du vase d'expansion (en litres) est donnée par la formule suivante dans laquelle les pressions sont exprimées en valeurs absolues :

$$V_{vase} = V_{expansion} \times \frac{p_{finale} \times p_{remplissage}}{p_{gonflage} \times (p_{finale} - p_{remplissage})}$$

Avec :

- $V_{expansion}$, le volume d'expansion en litres ;
- $p_{gonflage}$, la pression de gonflage du vase en bar ;
- $p_{remplissage}$, la pression de remplissage de l'installation en bar ;
- p_{finale} , la pression finale du vase en bar.

La pression de remplissage est généralement supérieure d'environ 0,2 bar à la pression de gonflage du vase et la pression finale de 90 % de la pression de tarage des soupapes (cf. 7.1.2).

Si la pression de remplissage est identique à la pression de gonflage du vase, aucune réserve d'eau n'est prévue. On peut, dans ce cas, utiliser la formule simplifiée suivante pour calculer la capacité du vase :

$$V_{vase} = V_{expansion} \times \frac{P_{finale}}{P_{finale} - P_{remplissage}}$$



Dans ces formules, les pressions sont exprimées en valeurs absolues. Par exemple : une pression relative de 1,5 bar correspond à une pression absolue de 1,5 + 1 bar de pression atmosphérique soit 2,5 bar.

Note

Les catalogues des fabricants proposent des tableaux de détermination rapide des vases d'expansion à partir de la hauteur de l'installation et de sa contenance en eau.

Par exemple, pour un volume d'expansion de 45 litres, une pression de gonflage de 1,5 bar, une pression de tarage des soupapes de 3 bar (c'est-à-dire une pression finale de $0,9 \times 3$ bar soit 2,7 bar) et une pression de remplissage de $1,5 + 0,2$ bar soit 1,7 bar, la capacité du vase est de :

$$V_{vase} = V_{expansion} \times \frac{p_{finale} \times p_{remplissage}}{p_{gonflage} \times (p_{finale} - p_{remplissage})} = 45 \times \frac{3,7 \times 2,7}{2,5 \times (3,7 - 2,7)} = 180\text{ l}$$

Soit une capacité de vase d'environ 180 litres. On sélectionne un vase de 200 litres.



Dans le catalogue du fabricant, toujours choisir un vase de capacité supérieure à la capacité calculée.

Note

La méthode de dimensionnement d'un vase d'expansion sur une installation d'eau glacée est similaire à celle utilisée pour le chauffage. Elle nécessite de connaître le pourcentage de glycol car le coefficient de dilation de l'eau glycolée est supérieur à celui de l'eau pure (Figure 7-11).



7.3. • Dimensionnement d'un vase d'expansion en solaire

En complément de sa fonction habituelle (absorption de la dilatation et maintien en pression), le vase d'expansion placé sur le circuit des capteurs solaires doit permettre de stocker le volume contenu dans les capteurs lors de la phase d'évaporation en cas de surchauffe.

Le vase doit être placé sur la canalisation d'entrée des capteurs solaires, là où la température est la moins élevée.

Note

Pour les installations autovidangeables, un vase d'expansion n'est pas indispensable. Néanmoins, le dispositif de vidange doit être conçu pour assurer ce rôle.



Le vase d'expansion doit être adapté aux spécificités du solaire en termes de température (plage de fonctionnement généralement comprise entre -10 et 120°C) et de pression. Sa membrane doit accepter le fonctionnement avec le liquide caloporteur utilisé.

La détermination de la pression de gonflage et de la capacité du vase nécessite de connaître :

- le volume de liquide du circuit solaire (capteurs solaires, canalisations, échangeurs...)
- la température maximale de fonctionnement de l'installation ;
- la hauteur statique de l'installation.

Pression de gonflage

La pression de gonflage du vase doit être supérieure à la pression statique de l'installation à laquelle on ajoute la pression de vaporisation

et la pression différentielle (hauteur manométrique) du circulateur le cas échéant ainsi qu'une marge de 0,3 bar.

La pression de gonflage (en bar) est donnée par la relation suivante :

$$p_{\text{gonflage}} = \frac{H}{10} + 0,3 + p_{\text{vaporisation}} + \Delta p$$

Avec :

- H, la hauteur statique de l'installation en m eau ;
- Δp , la pression différentielle du circulateur le cas échéant en m eau ;
- $p_{\text{vaporisation}}$, la pression de vaporisation à la température maximale de fonctionnement en bar (en pression relative).

La pression différentielle du circulateur est comptabilisée si le vase d'expansion est raccordé au refoulement du circulateur. Il n'est pas ajouté si le vase est sur l'aspiration.

La pression de vaporisation à la température maximale de fonctionnement (en pression relative) est donnée à la (Figure 7-10).

Pression de vaporisation (bar)				
Teneur en glycol (%)	Température (°C)			
	100	110	120	130
30	0	0,3	0,8	1,4
40	0	0,2	0,6	1,2

▲ Figure 7-10 : Pression de vaporisation de l'eau glycolée selon la température

Volume d'expansion

Le volume d'expansion correspond au volume de dilatation du liquide circulant dans le circuit solaire (capteurs, canalisations, échangeurs...). Il est fonction de la température maximale de l'installation.

Le tableau de la (Figure 7-11) fournit le coefficient de dilatation de l'eau pour différents pourcentages de glycol et différentes températures. Par exemple, pour de l'eau à 30 % de glycol et une température maximale de 120°C, le coefficient de dilatation est de 69 litres par mètre cube d'eau du circuit solaire.

Coefficient de dilatation (l/m ³)																
Teneur en glycol (%)	Températures (°C)															
	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
0			0	1	2	4	8	12	17	23	29	36	43	52	60	69
10			1	3	5	7	11	15	20	26	32	39	46	55	63	73
20			2	5	8	11	14	18	23	29	35	42	49	58	67	76
30		1	4	7	10	13	16	21	26	31	38	44	52	60	69	78
40	4	7	10	13	15	17	21	25	30	36	42	49	56	64	73	82
50	6	9	12	15	18	20	24	28	33	39	45	52	59	67	76	85

▲ Figure 7-11 : Coefficient de dilatation de l'eau glycolée selon la température



Capacité du vase

La capacité du vase d'expansion (en litres) est donnée par la formule suivante dans laquelle les pressions sont exprimées en valeurs absolues :

$$V_{\text{vase}} = \left(V_{\text{expansion}} + V_{\text{réserve}} + V_{\text{capteurs}+10\%} \right) \times \frac{p_{\text{finale}}}{p_{\text{finale}} - p_{\text{gonflage}}}$$

Avec :

- $V_{\text{expansion}}$, le volume d'expansion en litres ;
- $V_{\text{réserve}}$, le volume de réserve en litres ;
- $V_{\text{capteurs}+10\%}$, le volume des capteurs en litres ;
- p_{gonflage} , la pression de gonflage du vase en bar ;
- p_{finale} , la pression finale du vase en bar.

La pression finale est en général de 90 % de la pression de tarage des soupapes (cf. 7.1.2).

Le volume de réserve permet de maintenir la pression au point haut de l'installation. Une réserve d'eau dans le vase de 0,5 % de la contenance du réseau est prévue. A minima, une réserve de 3 litres est conseillée. Le fluide est déjà dilaté au moment du remplissage du vase à température ambiante, d'où la possibilité d'un manque de fluide en hiver par exemple. Ainsi, le volume de réserve correspond au volume du circuit solaire multiplié par 0,005.

Le volume des capteurs est pris en compte dans le calcul du vase afin d'absorber la surchauffe lors d'un éventuel arrêt de l'installation (coupure électrique, problème de circulateur...). Lors du refroidissement des capteurs, la totalité du fluide contenu dans ces derniers avant la surchauffe doit leur être restituée. En effet, si le vase est de contenance trop faible, la montée en pression provoque l'ouverture des soupapes de sécurité et un complément de fluide est à prévoir. Il est conseillé une majoration de 10 % de la contenance des capteurs. Ainsi, le volume à considérer correspond au volume des capteurs solaires multiplié par 1,1.



Dans la formule, les pressions sont exprimées en valeurs absolues. Par exemple : une pression relative de 1,5 bar correspond à une pression absolue de 1,5 + 1 bar de pression atmosphérique soit 2,5 bar.

7.4. • Les groupes de maintien de pression

Les groupes de maintien de pression remplacent les vases d'expansion fermés sur des installations étendues (avec des volumes en eau importants) et/ou présentant des hauteurs statiques importantes, pour lesquelles l'encombrement des vases fermés devient une difficulté.

On distingue deux familles de groupes de maintien de pression :

- les groupes de maintien de pression par le gaz ;
- les groupes de maintien de pression sur l'eau.

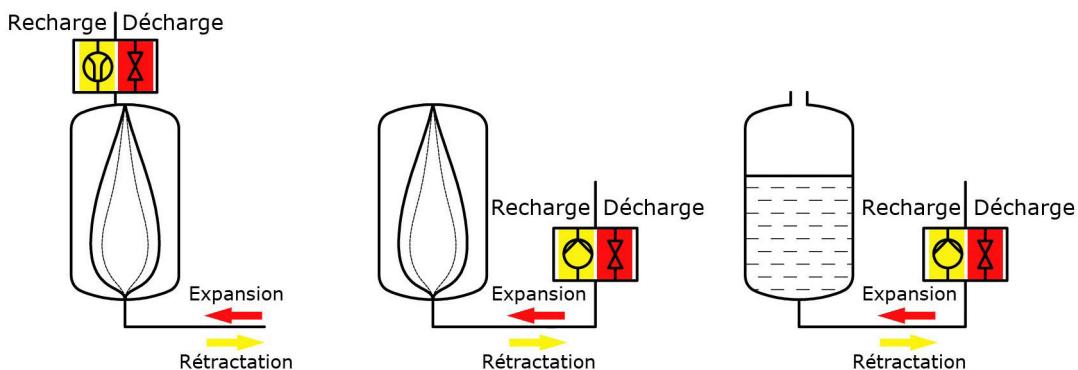
Ils sont décrits dans le NF DTU 65.11.

Groupe de maintien de pression par le gaz

Pour ces dispositifs, l'expansion et la mise sous pression sont assurées par un vase raccordé à une source de gaz à pression constante. Lorsqu'elle est nécessaire, l'évacuation des gaz est assurée par un dispositif de décharge. Le gaz utilisé est un gaz neutre (azote) ou de l'air. Dans ce dernier cas, l'air est injecté dans une membrane afin d'éviter son contact avec l'eau et son oxygénation.

Groupe de maintien de pression sur l'eau

Ce système agit côté eau, avec un circulateur régulant la charge et la décharge d'eau dans le vase. On distingue les systèmes fermés des systèmes à bâches ouvertes pour lesquels l'eau est en contact direct avec l'atmosphère. Dans ce dernier cas, la bâche à l'air libre est source d'oxygénéation.



▲ Figure 7-12 : Groupes de maintien de pression : par le gaz (à gauche), sur l'eau à système fermé (au centre) et sur l'eau à bâche ouverte (à droite)

8

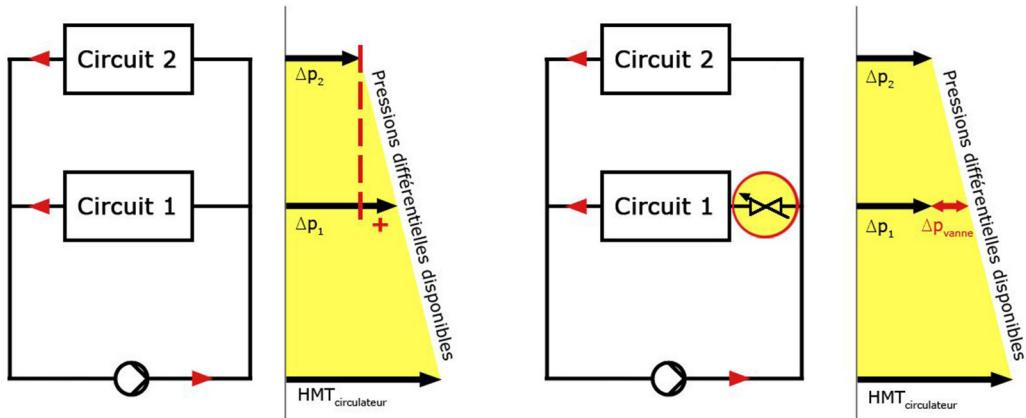
L'équilibrage hydraulique



8.1. • Objectif et principe de l'équilibrage

L'équilibrage hydraulique d'une installation a pour objectif d'alimenter chaque émetteur à son débit nominal. Le circulateur est dimensionné pour le débit total nominal et pour vaincre les pertes de charge du circuit le plus défavorisé, c'est-à-dire aux pertes de charge les plus élevées. Les autres circuits présentant des pertes de charge plus faibles sont donc soumis à une pression différentielle trop importante, générant des surdébits.

L'équilibrage hydraulique consiste à mettre en place des organes de réglage pour équilibrer les pertes de charge des circuits (Figure 8-1) et ainsi répartir les débits.

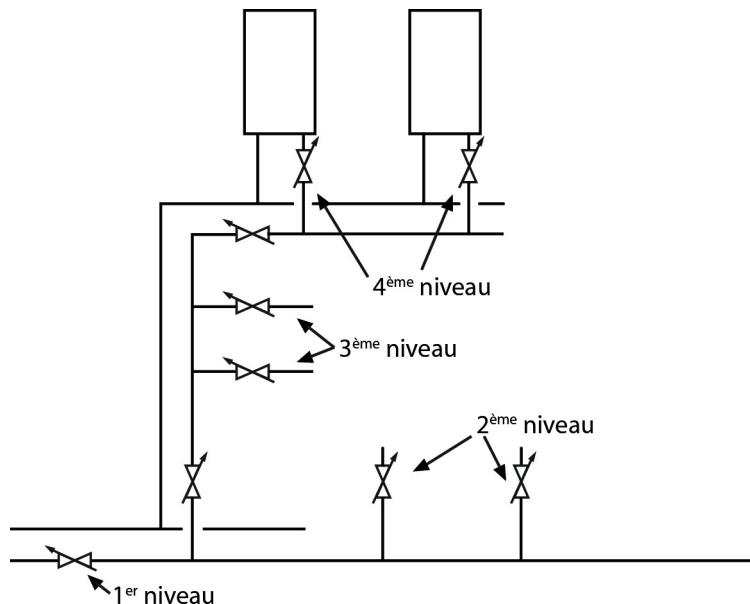


▲ Figure 8-1 : Principe de l'équilibrage hydraulique

Note

En chauffage, par exemple, l'absence d'équilibrage conduit à un déséquilibre hydraulique à l'origine d'un déséquilibre thermique dans les locaux caractérisé par une disparité des températures ambiantes. Afin d'assurer une température suffisante, la courbe de chauffe du régulateur en fonction de l'extérieur est décalée vers le haut pour alimenter les émetteurs à des températures d'eau plus élevées et/ou le débit de circulation est augmentée, d'où des surconsommations.

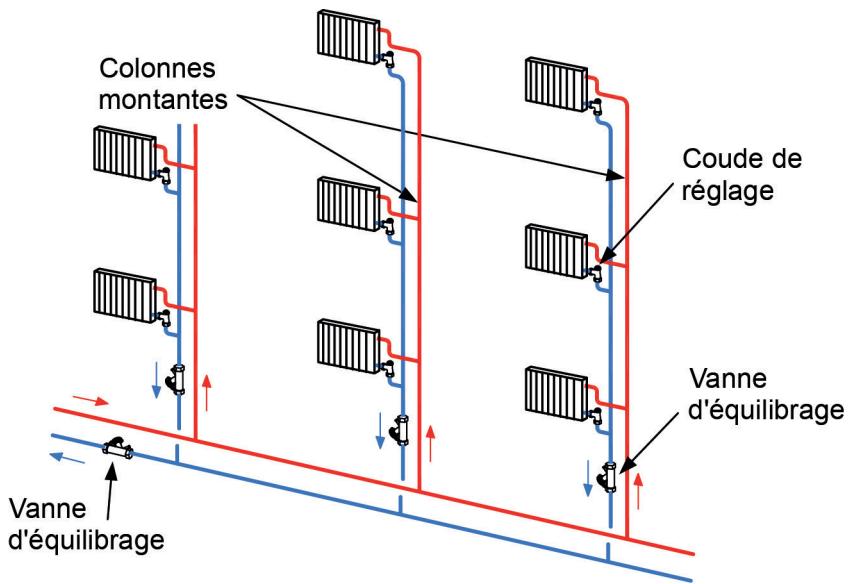
Afin d'assurer le débit nominal calculé dans chaque émetteur, des organes d'équilibrage doivent être placés à chaque niveau de la distribution (Figure 8-2) : distribution principale (1^{er} niveau), colonne (2^{ème} niveau), branche horizontale (3^{ème} niveau) et émetteur (4^{ème} niveau).



▲ Figure 8-2 : Définition des niveaux d'équilibrage

Par exemple, une installation de chauffage doit comporter des organes d'équilibrage (Figure 8-3) :

- sur la distribution principale afin de pouvoir éventuellement ajuster le point de fonctionnement du circulateur : prévoir une vanne à mesure de débit afin de vérifier que le débit circulant dans l'installation est proche du débit calculé ;
- en pied de colonne : afin de permettre une bonne répartition du débit entre colonnes ;
- au niveau des émetteurs (té ou coude de réglage sur les radiateurs) pour permettre une bonne répartition des débits dans la colonne.



▲ Figure 8-3 : Organes d'équilibrage présents sur une installation de chauffage par radiateurs

8.2. • Les organes d'équilibrage

8.2.1. • Les vannes d'équilibrage

Les vannes d'équilibrage sont principalement disposées sur le circuit principal, en pieds de colonnes et sur les branches du réseau (voire sur certains émetteurs) (Figure 8-2). Leur réglage par un volant est gradué en nombre de tours.

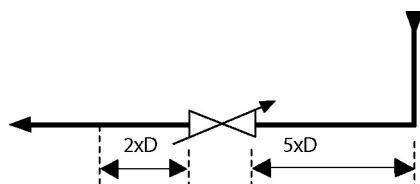
Elles sont le plus souvent équipées de prises de pression permettant le contrôle du débit par le raccordement sur un appareil adapté.

Les vannes d'équilibrage peuvent assurer les fonctions d'isolement hydraulique et de mémorisation du réglage.

Elles doivent être installées en respectant le sens de circulation indiqué par le fabricant sur le corps. L'écoulement est généralement tel que la pression d'entrée s'oppose à la fermeture pour limiter le bruit et l'usure.

S'agissant d'ajouter une perte de charge, leur emplacement sur le circuit n'a pas d'incidence. Elles sont toutefois généralement implantées sur le retour des circuits pour limiter les pertes thermiques. Des coquilles calorifuges préformées sont proposées par les fabricants.

Afin d'assurer la précision de la mesure de débit, des longueurs droites sont à prévoir de part et d'autre de la vanne d'équilibrage. La (Figure 8-4) indique par exemple une longueur droite amont de cinq fois le diamètre et aval de deux fois le diamètre. Les indications du fabricant doivent être suivies.



▲ Figure 8-4 : Exemples de longueurs droites en amont et en aval d'une vanne d'équilibrage à mesure de débit

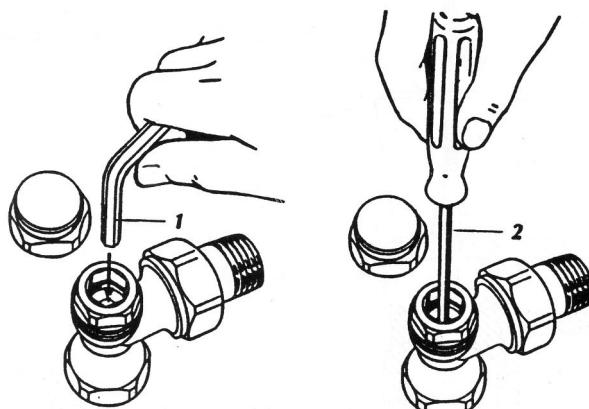
Il convient de veiller à l'accessibilité des vannes d'équilibrage pour permettre et faciliter les opérations de réglage et de contrôle. Par ailleurs, plusieurs vannes d'équilibrage peuvent être regroupées géographiquement dans un objectif d'optimisation de l'intervention.

8.2.2. • Les organes d'équilibrage des émetteurs

Les tés et coudes de réglage

Les tés et coudes de réglage se composent d'un corps et d'une vis-pointeau. Ils se placent en série avec l'émetteur, radiateur par exemple. Le réglage consiste à fermer l'organe puis à l'ouvrir du nombre de tours prescrit, ce qui modifie la section de passage. Il est effectué à l'aide d'un tournevis ou d'une clé à six pans au $\frac{1}{4}$ de tour près.

Certains organes offrent une possibilité de blocage du réglage au moyen d'une vis située à l'intérieur de la vis de réglage.



▲ Figure 8-5 : Réglage du coude de réglage (1) puis blocage (2)

Note

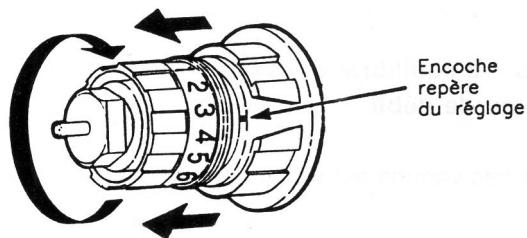
Les organes de réglage peuvent être équipés de prises de pression afin de permettre la mesure du débit (les fabricants proposent les appareils de mesure adaptés à leur matériel).

Les robinets avec réglage incorporé

Le réglage peut être réalisé au niveau du robinet thermostatique (ou du robinet manuel). Ils sont alors désignés robinets double réglage ou à réglage incorporé.

Sur un robinet thermostatique, le réglage est par exemple effectué par rotation d'une bague graduée en nombre de tours située sur le corps du robinet, grâce à une clé spécifique (Figure 8-6).

Le réglage sur le robinet a pour avantage de ne pas être facilement accessible à l'occupant. Le té ou le coude de réglage, s'il existe, ne sert que de moyen de fermeture en cas de dépose de l'émetteur.



▲ Figure 8-6 : Exemple de réglage par rotation d'une bague graduée sur un robinet thermostatique

8.3. • La procédure d'équilibrage

8.3.1. • Les étapes

L'équilibrage hydraulique d'un réseau de distribution de chauffage ou de climatisation **repose impérativement sur des calculs** pour sélectionner et calculer les réglages des organes d'équilibrage à mettre en place.

Les principales étapes d'une opération d'équilibrage sont les suivantes :

- calculer les débits de chaque circuit, colonne montante, branche et émetteur ;
- calculer les pertes de charge à assurer par chaque organe d'équilibrage (cf. 8.3.2) ;
- sélectionner l'organe d'équilibrage et calculer son nombre de tours de réglage (cf. 8.3.3) ;
- régler sur site les organes aux nombres de tours calculés ;
- vérifier les débits si des organes à mesure de débit sont présents.

8.3.2. • Les calculs

Ce chapitre décrit dans le détail les calculs de pertes de charge des organes d'équilibrage sur une installation équipée de vanne à deux voies de régulation.

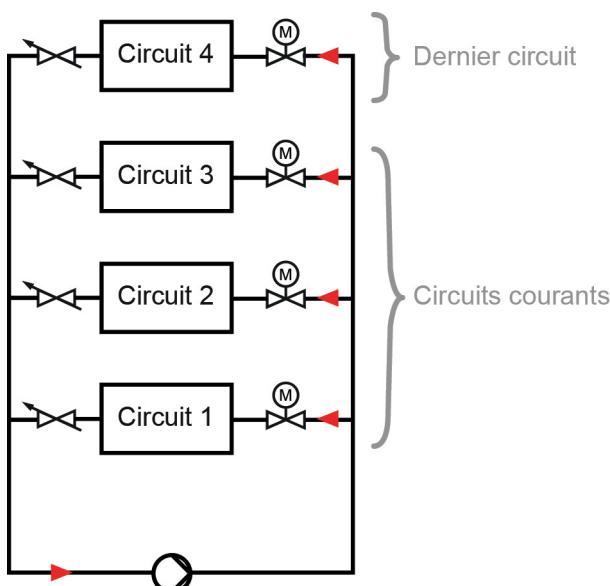
L'exemple considéré est décrit en (Figure 8-7). Il est composé d'une colonne composé de 4 circuits correspondant à des émetteurs.

Le calcul consiste aussi à assurer une autorité suffisante à la vanne de régulation (cf. 2.3). Or, son dimensionnement doit tenir compte de la perte de charge de la vanne d'équilibrage, laquelle est choisie en fonction des pertes de charge de cette dernière.

La procédure de calcul consiste à dimensionner le dernier circuit puis à calculer successivement tous les circuits en amont (les plus proches du circulateur). La pression différentielle qui est appliquée sur un circuit dépend en effet de la pression différentielle du circuit aval.

Note

Plus justement, le calcul débute par le circuit le plus défavorisé. C'est celui qui présente les pertes de charge les plus importantes. Il s'agit généralement du dernier circuit de la colonne, le plus éloigné du circulateur.



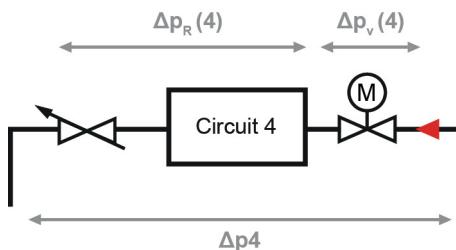
▲ Figure 8-7 : Exemple de distribution à débit variable

Calcul du dernier circuit

Le calcul commence par le dernier circuit de la colonne, référencé 4.

La mise en place d'un organe d'équilibrage sur ce circuit le plus défavorisé est facultative. Il doit présenter la perte de charge la plus faible possible pour limiter la HMT du circulateur et être en position maximale d'ouverture. Donc sa perte de charge est connue.

Pour respecter une autorité de 0,5, la vanne de régulation doit présenter une perte de charge $\Delta p_v(4)$ identique à la perte de charge $\Delta p_R(4)$ du circuit incluant la perte de charge de l'organe d'équilibrage.



▲ Figure 8.8 : Calcul du dernier circuit

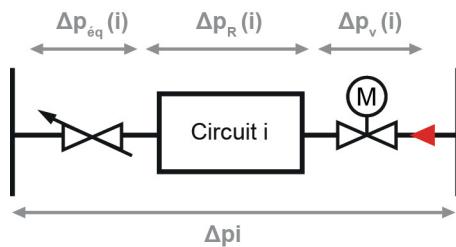
Calcul des circuits courants

On utilise l'indice i pour désigner les pertes de charge des circuits 1, 2 et 3. Ces calculs sont généralisables à un nombre quelconque de circuits.

Afin d'équilibrer les circuits entre eux, le circuit i doit avoir une pression différentielle Δp_i équivalente à la pression différentielle du circuit 4 à laquelle sont ajoutées les pertes de charge des canalisations depuis le circuit 4.

La vanne de régulation est choisie de façon à ce qu'elle reprenne un maximum de pression différentielle, c'est-à-dire $(\Delta p_i - \Delta p_{R(i)})$, avec $\Delta p_{R(i)}$, les pertes de charge du circuit émetteur. La vanne étant sélectionnée, sa perte de charge réelle est notée $\Delta p_{V(i)}$.

L'organe d'équilibrage est calculé pour que la perte de charge $\Delta p_{éq(i)}$ créée permette d'équilibrer la pression différentielle Δp_i , soit $\Delta p_{éq(i)} = \Delta p_i - (\Delta p_{R(i)} + \Delta p_{V(i)})$.



▲ Figure 8-9 : Calcul des circuits courants

On procède ainsi pour tous les circuits courants, en se rapprochant du circulateur.

Cette procédure permet d'assurer une autorité suffisante de la vanne de régulation à deux voies, supérieure à 0,5.

Note

Si des vannes de régulation à trois voies sont installées sur les circuits, le calcul est plus simple. La perte de charge de la vanne de régulation doit être proche de la perte de charge du circuit, sans considérer les pertes de charge de l'organe d'équilibrage.

8.3.3. • Choix de l'organe d'équilibrage et détermination du nombre de tours

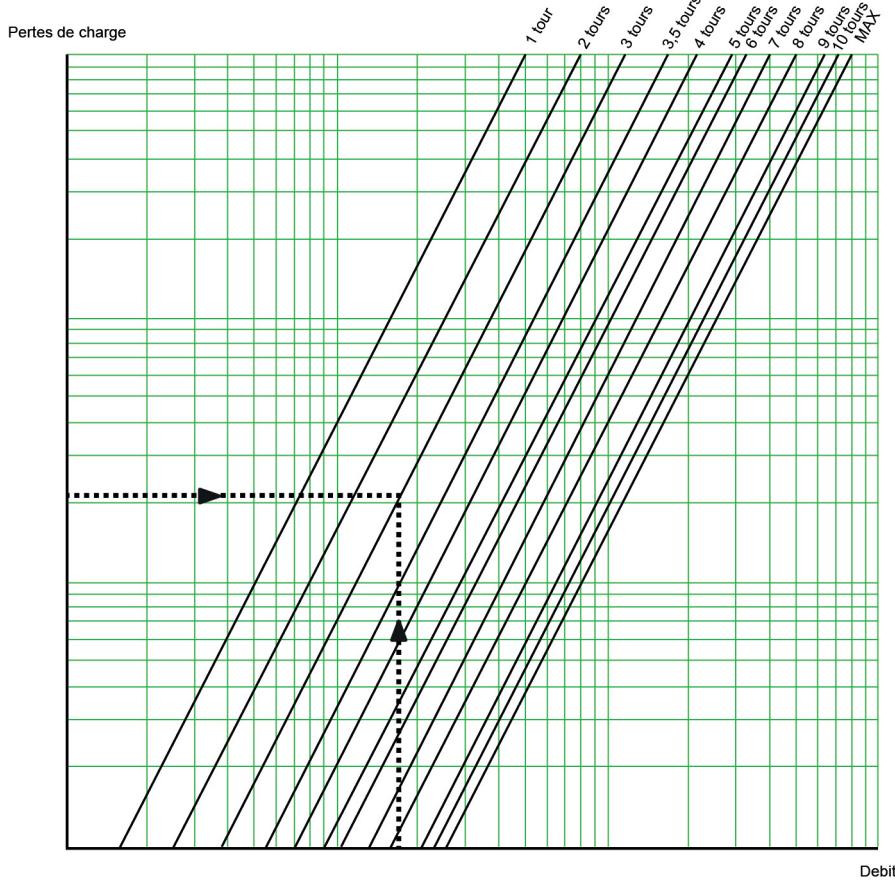
La perte de charge de l'organe d'équilibrage étant déterminée (cf. 8.3.2), il est sélectionné à partir d'abaques tels que celui de la (Figure 8-10).

L'abaque permet, à partir du débit et de la perte de charge à ajouter, de déterminer le nombre de tours de réglage.

Il convient de sélectionner un organe d'équilibrage dont le réglage ne soit pas trop proche de la fermeture pour limiter les phénomènes de bruit, d'usure et les risques de colmatage.

Si l'organe d'équilibrage est équipé d'une mesure de débit, le fabricant conseille généralement une perte de charge minimale de l'ordre de 300 mm eau afin d'obtenir une mesure de différence de pression et donc de débit qui soit suffisamment précises.

Le diamètre de l'organe d'équilibrage choisi est généralement identique à celui de la canalisation.



▲ Figure 8-10 : Exemple d'abaque de détermination du nombre de tours de réglage d'un organe d'équilibrage



9

Les distributions à débit variable



9.1. • Problématique

Les distributions à débit variable sont sujettes à des variations de pression différentielle suivant les différentes phases de fonctionnement de l'installation, à charge partielle et à pleine charge.

Ces variations de pression différentielle sont conduisent à :

- des risques de bruits au niveau des émetteurs ;
- des perturbations du fonctionnement des vannes de régulation terminale.

L'exemple de la (Figure 9-1) met en évidence ces phénomènes pour quatre circuits identiques alimentés par un circulateur à vitesse variable paramétré en hauteur manométrique constante.

A pleine charge, toutes les vannes à deux voies sont ouvertes et chaque circuit est alimenté à son débit nominal. La pression différentielle s'appliquant aux circuits décroît selon leur éloignement du fait des pertes de charge de la distribution (trait continu rouge).

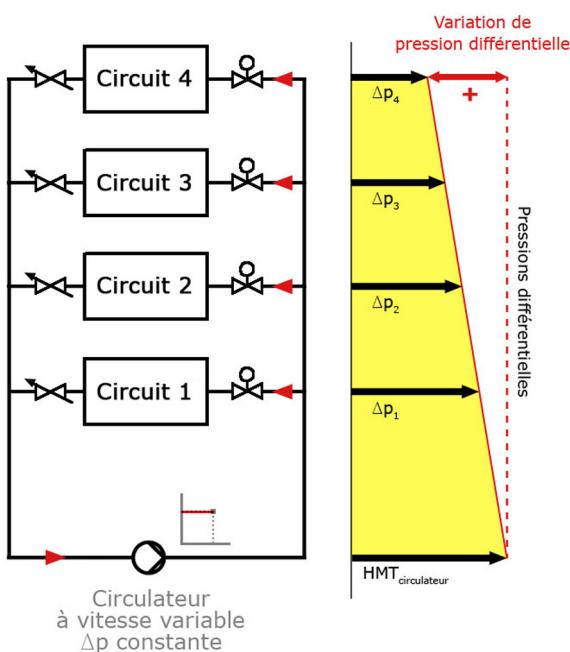
A charge partielle, le débit diminue ce qui entraîne une diminution des pertes de charge des canalisations et une augmentation de la pression différentielle aux bornes des circuits en demande. A l'extrême, seul le circuit 4 est en demande. Dans ce cas, le débit étant divisé par 4, les pertes de charge dans les canalisations le sont par 16. Elles deviennent négligeables : l'intégralité de la hauteur manométrique du circulateur est appliquée aux bornes du dernier circuit.

Les conséquences sont :

- une pression différentielle élevée appliquée aux bornes de la vanne de régulation qui perturbent son fonctionnement à charge partielle ;

- un surdébit aux bornes du dernier circuit avec pour conséquence une diminution de la chute de température dans l'émetteur, ce qui peut s'avérer critique dans le cas d'un retour vers des groupes frigorifiques par exemple ou peu performant pour des chaudières à condensation ;
- une éventuelle fermeture de l'organe de régulation pour compenser le surdébit. Cette fermeture alors même que le circuit est en pleine demande engendre une diminution de la course utile de la vanne de régulation.

Le phénomène serait encore aggravé dans le cas d'un circulateur à vitesse fixe, la pression différentielle fournie par le circulateur augmentant à mesure que le débit diminue.



▲ Figure 9-1 : Mise en évidence des dérives fonctionnelles sur un circuit à débit variable

Note

Le schéma de la (Figure 9-1) est une représentation simplifiée. En effet, toutes les résistances hydrauliques fixes (vannes d'équilibrage, canalisations...) ont normalement une perte de charge qui diminue à charge partielle.

9.2. • Indicateur de dérives fonctionnelles

L'exemple précédent a mis en évidence que les variations de pression différentielle sont d'autant plus importantes que les pertes de charge de la distribution sont élevées au vu des pertes de charge globales. A partir de ce constat, on peut définir l'indicateur suivant :



$$b = \frac{\Delta p_{distribution}}{H}$$

Avec :

- $\Delta p_{distribution}$: les pertes de charge par la distribution aux conditions nominales de fonctionnement de l'installation ;
- H : la hauteur manométrique du circulateur aux conditions nominales de fonctionnement de l'installation.

Des simulations ont montré, en première approche, que le risque de dérive de la pression différentielle est acceptable pour un rapport b inférieur ou égal à 0,33, c'est-à-dire pour des pertes de charge dans la distribution qui représentent au plus le tiers des pertes de charge totales.

Des valeurs de b supérieures à 1/3 sont admissibles, jusqu'à un rapport de 2/3, à condition de disposer d'un circulateur à vitesse variable, avec un réglage de hauteur manométrique proportionnelle au débit (cf. 9.3).

Les solutions pour limiter les dérives fonctionnelles lorsque le ratio b est défavorable sont développées en chapitre 9.3 (cf. 9.3). Elles consistent à :

- Réduire les pertes de charge de la distribution ;
- Diviser les circuits de distribution.

En dernier lieu, des valeurs de b élevées requièrent la mise en place de dispositifs de régulation de pression différentielle ou de débit.

Ces solutions ne doivent pas remplacer, mais compléter les actions de modifications du réseau ; plus particulièrement pour des valeurs supérieures à 0,75 qui compromettent sévèrement la stabilité hydraulique du réseau et le bon fonctionnement des régulations.

9.3. • Les solutions

Paramétrier le circulateur à vitesse variable en hauteur manométrique proportionnelle au débit

Avec ce réglage, la hauteur manométrique du circulateur diminue de sa valeur nominale à la moitié de cette valeur (selon le réglage standard) (cf. 1.5).

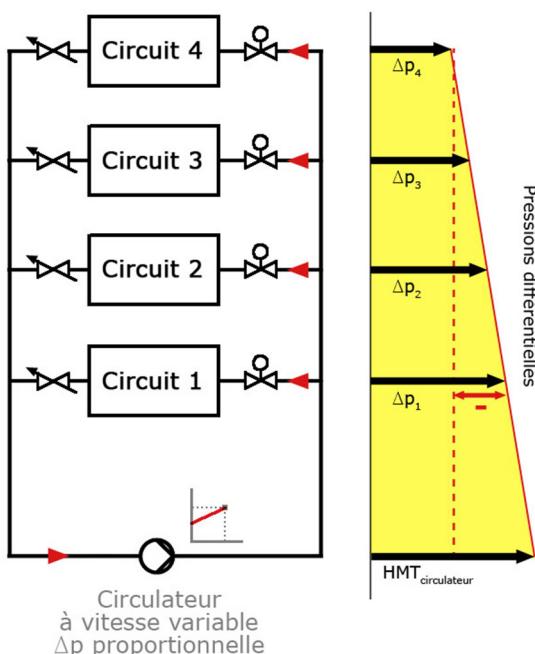
La hausse de pression différentielle est donc limitée. A contrario, la pression différentielle dans le réseau évolue à la baisse et peut faire apparaître des sous-débits dans les premiers circuits à charge partielle.

Opter pour le réglage à hauteur manométrique proportionnelle au débit assure une limite acceptable de la dérive du débit. Il faut cependant vérifier que ce dernier reste suffisamment élevé pour alimenter les émetteurs à charge partielle. Pour ce faire, on peut considérer le

cas extrême ou seul le premier circuit est en demande et se reporter à la loi d'émission liant le débit à la puissance émise (cf. 12.6.3).

A noter qu'une diminution de 30 % du débit nominal n'entraîne qu'une baisse de moins de 10 % de la puissance émise pour une efficacité de l'émetteur de 0,30.

Cette adaptation de la hauteur manométrique permet de maîtriser les dérives de débits dans des limites acceptables. Elle est surtout intéressante si les besoins des émetteurs varient de façon homogène. Dans le cas contraire, certains émetteurs ou circuits peuvent être sous-alimentés.



▲ Figure 9-2 : Les excès de pression différentielle sont limités lorsque le circulateur à vitesse variable est paramétré en pression différentielle proportionnelle au débit

Diminuer les pertes de charge de la distribution

Le débit nominal constitue le premier facteur de maîtrise des pertes de charge. Il faut commencer par fixer des débits nominaux au juste nécessaire, sans appliquer de facteur de surpuissance. Cependant, la réduction des débits doit respecter certaines limites. En effet, des vitesses de circulation trop faibles ont pour conséquence un risque d'embouage des réseaux plus élevé et des pertes thermiques plus importantes.

Le deuxième facteur influant sur la perte de charge est le choix des diamètres des conduites. Il est ainsi préconisé d'avoir des pertes de charge linéaires proches de 10 mm eau/m (cf. 4.2).

A noter que des pertes de charge linéaires plus faibles, de l'ordre de 5 mm eau/m, peuvent être envisagées. Dans ce cas, il faut évaluer le surcoût d'installation et tenir compte d'éventuels problèmes d'encombrement.



En limitant les pertes de charge dans la distribution, le fonctionnement des vannes de régulation est amélioré tout en diminuant la consommation des circulateurs.

Diviser les circuits

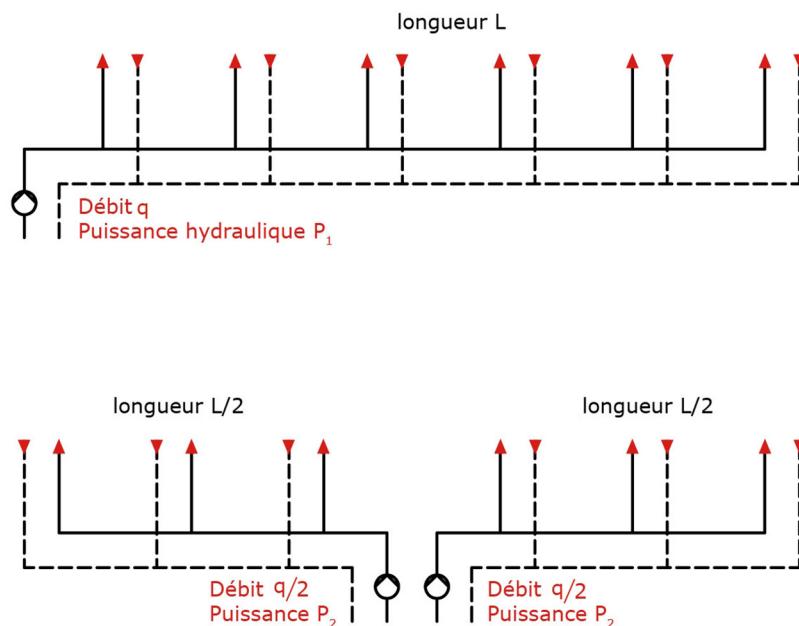
Dans le cas de réseaux étendus, une division en plusieurs circuits permet de maîtriser les pertes de charge.

La division par 2 de la puissance thermique à transporter sur chaque circuit permet :

- de réduire de moitié les pertes de charge à vaincre par chaque circulateur ;
- une meilleure stabilité des organes de régulation du fait d'une pression différentielle appliquée plus faible ;
- l'adaptation de la durée de fonctionnement de chaque circulateur aux besoins propres des circuits qu'il alimente ;
- de réduire de moitié le débit à fournir pour chaque circulateur.

D'autre part, la division des circuits a pour avantage de faciliter la mise au point, la maintenance et de permettre une meilleure gestion des modifications futures sur le réseau.

La division des circuits sera d'autant plus efficace qu'elle aura fait l'objet d'une réflexion globale visant à réduire les coûts et améliorer les réglages.



▲ Figure 9-3 : Principe de division d'une distribution étendue

Mettre en place des régulateurs de pression différentielle ou de débit

Pour les réseaux présentant un rapport b élevé, une limitation dynamique des débits devient nécessaire. Les moyens technologiques sont nombreux : régulateurs de débit, régulateurs de pression différentielle, nouvelle génération de vannes de régulation intégrant ces fonctions...

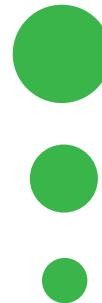
Les différentes solutions sont présentées en chapitre 3 (cf. 3).

Ces produits implantés en série présentent pour inconvénients d'accroître les pertes de charge, en particulier sur le circuit de l'émetteur le plus défavorisé, et donc d'augmenter la hauteur manométrique du circulateur et par conséquent ses consommations électriques.



10

Concevoir des circuits optimisés



10.1. • Réduire les pertes thermiques

Les pertes thermiques d'un circuit hydraulique peuvent être réduites en respectant les règles simples de conception :

- calorifuger les canalisations et les composants hydrauliques ;
- réduire les longueurs des canalisations ;
- limiter le nombre de vannes installées.

Par ailleurs, dans le cas d'une installation comportant plusieurs générateurs, il est impératif d'interrompre la circulation dans les générateurs lorsqu'ils sont à l'arrêt.

10.1.1. • Calorifuger les canalisations et les composants

Le calorifugeage des canalisations en chaufferie permet de diviser par 10 environ les pertes thermiques.

Sur les installations de froid, il évite le réchauffement de l'eau glacée et la condensation sur les canalisations.

Les équipements tels que les vannes et les circulateurs devraient aussi être calorifugés. Certains fabricants proposent ainsi des coquilles isolantes pour les circulateurs et des calorifuges préformés pour les vannes d'équilibrage. Il existe par ailleurs des rehausseurs pour les poignées de manœuvre des vannes à boisseau sphérique afin de permettre leur calorifuge.



10.1.2. • Optimiser les longueurs de canalisations

Lors de la conception du circuit hydraulique, il est nécessaire de limiter autant que possible les longueurs des canalisations afin de réduire les pertes thermiques.

La réduction des longueurs est aussi bénéfique car elle permet de réduire les pertes de charge. L'autorité des vannes de régulation est améliorée et les consommations électriques des circulateurs plus faibles.

Toutefois, des longueurs de conduites suffisantes sont requises en quelques points du circuit hydraulique :

- en amont et en aval des vannes d'équilibrage à mesure de débit afin d'assurer une mesure satisfaisante (cf. 8.2.1) ;
- en certains emplacements bien choisis afin de permettre la pose ultérieure de compteurs d'eau ou d'appareils de mesure de débit.

Note

Les boucles de Tichelmann qui consistent à doubler les canalisations pour équilibrer les pertes de charge doivent être réservées aux seules installations où elles s'avèrent effectivement utiles, par exemple face à des générateurs de mêmes caractéristiques (puissance, pertes de charge). Dans ce cas, elles évitent l'installation de vannes d'équilibrage en série avec les générateurs.

10.1.3. • Optimiser le nombre de vannes

Les vannes présentes sur le circuit hydraulique sont :

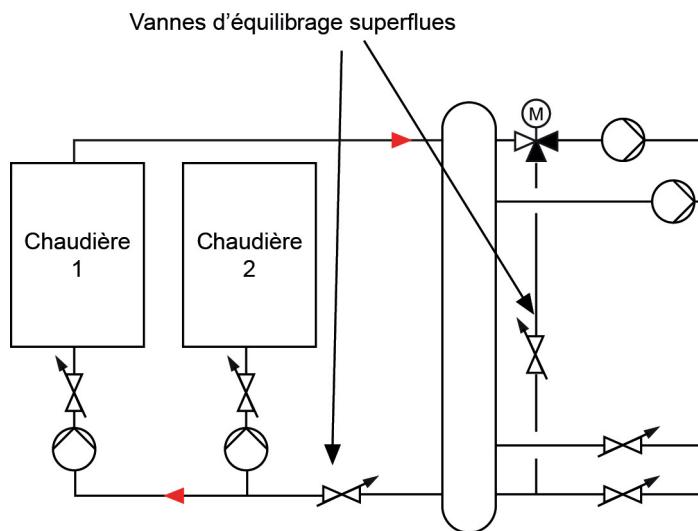
- les vannes d'équilibrage ;
- les vannes d'isolement motorisées (en série avec les générateurs pour interrompre leur irrigation dans le cas d'une gestion automatisée en séquence selon les besoins) ;
- les vannes d'isolement manuelles.

Les vannes sont sources de pertes thermiques importantes. Leur nombre doit être limité. Elles doivent être placées aux seuls endroits où elles sont réellement nécessaires, sans redondance.

De plus, afin de limiter les pertes thermiques, il est conseillé de disposer les vannes d'équilibrage et les vannes d'isolement sur le retour, où la température est la moins élevée en chauffage et où la température est la plus élevée en production de froid.

La (Figure 10-1) montre les vannes d'équilibrage superflues sur un circuit de production de chauffage : sur la voie bipasse de la vanne à trois voies (cf. 2.3.4) et sur le circuit commun des générateurs (le débit est déjà réglé par une vanne d'équilibrage en série avec chaque chaudière).

Les vannes d'isolement motorisées sont placées afin de faciliter les opérations de rinçage de l'installation et les interventions de maintenance et de remplacement de matériel. Leur nombre peut être optimisé en considérant que la fonction d'isolement peut être assurée par les vannes d'équilibrage et les vannes d'isolement motorisées qui intègrent une commande manuelle.



▲ Figure 10-1 : Emplacements conseillés des vannes d'équilibrage pour un circuit de chaufferie

Note

Il est recommandé de choisir des vannes taraudées plutôt que des vannes à brides pour leurs plus faibles pertes thermiques.

10.2. • Réduire les débits

Des débits plus élevés que nécessaire sont fréquemment constatés sur les installations.

Ils engendrent des consommations électriques des circulateurs plus élevées et des écarts de température plus faibles (à puissance égale). Ces derniers induisent des températures de retour plus élevées à la chaudière à condensation et au groupe frigorifique, ce qui n'est pas favorable à leur performance.

Les surdébits sont liés à des surpuissances à la conception ou au mauvais réglage des circulateurs.

On notera qu'un débit plus élevé que le débit nominal est inutile : multiplier par deux le débit augmente d'à peine 10 % la puissance émise (cf. 12.6.3).

Une enquête menée par le COSTIC avait montré que le débit dans des installations de chauffage se trouvait couramment 2,5 fois plus élevé que le débit suffisant. Or, diviser le débit par 2,5 conduit à fournir à l'eau une puissance mécanique plus de 6 fois plus faible.

10.2.1. • Réduire les puissances

Les déperditions, dans le cas du chauffage, et les charges, dans le cas de la climatisation, correspondent à des situations extrêmes, dont l'occurrence n'est que de quelques heures par an.

Le coefficient de surpuissance doit donc rester raisonnable (jusqu'à 10 %) et est à réserver à des installations au fonctionnement intermittent.

La limitation de la puissance installée permet en effet de réduire les coûts des matériels (générateurs, émetteurs, circulateurs...) et en conséquences les débits et les consommations électriques des circulateurs.

Cas des installations de froid

Le calcul des charges du bâtiment est effectué de façon à déterminer la puissance du groupe frigorifique. Or, sa performance est liée au taux de charge. Lorsqu'il est faible, le groupe fonctionne en court-cycles ce qui nuit à la durée de vie du compresseur et au confort.

Il convient donc de dimensionner la puissance du groupe au plus juste plutôt que de la surdimensionner, comme cela est fait couramment.

En conséquence, les charges doivent être calculées précisément, sans les surestimer, sachant que les apports instantanés dus à l'ensoleillement, aux occupants, à l'éclairage, aux équipements,... sont amortis et déphasés par l'inertie du local.

Les méthodes simplifiées basées sur un calcul horaire sont à réservier aux installations de taille réduite. Le recours aux logiciels de simulation dynamique s'impose sur de plus grands ensembles.

Le groupe frigorifique doit être dimensionné par rapport au maximum simultané des charges du bâtiment et non à la somme des charges maximales. En effet, selon l'orientation ou l'occupation, les charges maximales des différentes zones n'apparaissent pas au même moment. Ainsi, les locaux situés à l'est subissent un maximum de charges vers 9 ou 10 heures du matin au moment où les locaux orientés à l'ouest ont des charges peu élevées (leur maximum est atteint vers 16 ou 17 heures).

10.2.2. • Optimiser la chute de température

Le choix du débit est économique. Il doit être déterminé pour minimiser le coût global de l'installation en connaissance de cause des tendances :

- des surfaces d'échange et donc des coûts d'émetteurs qui augmentent en diminuant le débit ;
- des coûts d'investissement en matériel (canalisations, vannes, circulateurs...) qui diminuent avec le débit ;
- des consommations électriques des circulateurs qui diminuent en diminuant le débit.



De fait, c'est le choix de la chute de température de dimensionnement des émetteurs (écart de température entre l'entrée et la sortie) qui constitue le critère. On parle de chute ou de régime nominal.

Cas des installations de chauffage

En chauffage, la chute de température dans les émetteurs doit être telle qu'elle corresponde à une efficacité de 0,30 qui constitue l'optimum économique.

Le calcul de l'efficacité est rappelé en annexes (cf. 12.6.2).

La (Figure 10-2) fournit les principaux régimes de température respectant cet optimum.

On rappelle par ailleurs qu'une température nominale de départ basse augmente le rendement de la chaudière et limite les pertes thermiques des canalisations mais demande des émetteurs de plus grande surface.

Chutes de température en chauffage			
Régime	80-60°C	60-45°C	45-35°C
Efficacité	0,33	0,37	0,40

▲ Figure 10-2 : Chutes optimales de température en chauffage

Cas des installations de froid

En France, l'écart entre la température de départ et de retour de l'installation est traditionnellement de 5 K, avec par exemple un régime d'eau glacée de 7-12°C. Les valeurs d'efficacité sont d'environ 0,25.

Or, ces valeurs ne correspondent pas forcément à un optimum économique.

Des travaux menés au COSTIC ont mis en évidence que l'écart optimal calculé en considérant le coût global de l'installation, c'est-à-dire les coûts d'investissement (émetteurs, canalisations, circulateurs) et d'exploitation (consommations électriques des circulateurs), était supérieur à 5 K. Ainsi, un écart de 7 K réduit la consommation des circulateurs de 40 %.

Au-delà des intérêts avancés plus haut, l'augmentation de l'écart de température et donc la diminution du débit permet de réduire les quantités de condensats et par conséquent de mieux valoriser l'énergie frigorifique et d'améliorer la qualité de la régulation par une concavité moindre de l'émission de puissance en fonction du débit et donc une meilleure progressivité du réglage (cf. 12.6.3).

L'augmentation de l'écart conduit à une hausse du coût des batteries eau/air par l'augmentation de la surface d'échange. Mais ce surcoût est généralement compensé par les économies réalisées sur les équipements du réseau.

On constate qu'aux Etats-Unis les écarts de température sont beaucoup plus importants qu'en France. La température de retour est de 13 à 18°C pour un départ à 7°C.

Le tableau de la (figure 10-3) présente des chutes habituelles en France et des valeurs d'efficacité pour des écarts de température plus élevés.

Au stade du dimensionnement, l'écart optimal doit être recherché pour une limitation des coûts d'investissement et d'exploitation des installations.

	Chutes de température en eau glacée			
Régime	6-11°C	7-12°C	6-16°C	7-17°C
Efficacité	0,25	0,26	0,53	0,56

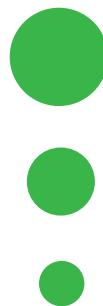
▲ Figure 10-3 : Chutes nominales de température en eau glacée (pour une température d'air à 26°C)



Si l'installation est destinée à contrôler précisément l'hygrométrie, il faut vérifier que la déshumidification reste suffisante avec des chutes de température plus importantes.

11

Les schémas élémentaires



Cette partie constitue une bibliothèque de « schémas élémentaires » principaux.

Ces schémas élémentaires sont constitués d'une association de composants, ils répondent à une fonction particulière. Ils sont caractérisés par des contraintes spécifiques.

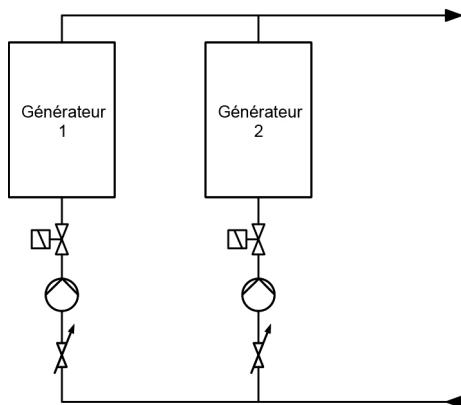
Les circuits de chauffage, d'eau chaude sanitaire, de climatisation sont construits par assemblage de ces « briques ».

Chaque schéma élémentaire est présenté sur la base d'un schéma de principe. Il fait l'objet d'une description de sa conception, en réponse aux contraintes spécifiques, et de son fonctionnement lié à la régulation associée. Des exemples d'application sont proposés.

Note

Les schémas de ce chapitre sont des schémas de principe. Ils ne comportent pas tous les équipements nécessaires.

11.1. • Produire par plusieurs générateurs en parallèle disposant d'un circulateur individuel en série



▲ Figure 11-1 : Générateurs en parallèle avec un circulateur par générateur

Les générateurs sont raccordés en parallèle. Chaque générateur est irrigué par un circulateur en série. Une vanne d'équilibrage est installée sur le circuit de chaque générateur. Elle permet d'ajuster le point de fonctionnement du circulateur et d'assurer le débit requis.

La mise en séquence des générateurs selon les besoins nécessite d'interrompre le débit dans le (ou les) générateur(s) qui ne sont pas en fonctionnement. Une vanne d'isolement tout ou rien motorisée est ainsi installée en série avec chaque générateur.

Ce circuit peut être raccordé en direct à la distribution ou bien par l'intermédiaire d'un découplage (cf. 5) : bouteille, bipasse...

Dans ce cas d'un découplage, le débit au primaire doit être en permanence supérieur au débit secondaire, quel que soit le nombre de générateurs en fonctionnement.

Certains générateurs (groupes frigorifiques, pompes à chaleur) peuvent requérir l'installation d'un volume tampon sur le circuit (cf. 6).

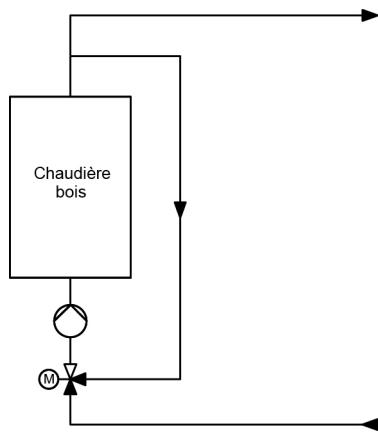
Les applications :

- production de chaleur par plusieurs générateurs (chaudières, pompes à chaleur...)
- production de froid par plusieurs générateurs (groupes frigorifiques...)

Ce schéma élémentaire n'est pas requis pour des générateurs sans contrainte de débit, pour lesquels aucun débit minimum d'irrigation n'est imposé.

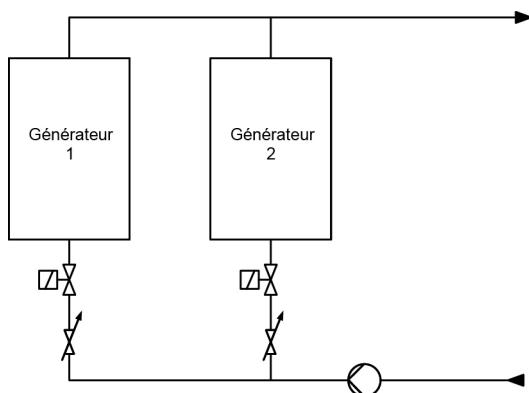
Dans le cas de générateurs qui nécessitent le maintien d'une température minimale de retour, comme pour les chaudières au bois, la vanne à deux voies d'isolement motorisée est remplacée par une vanne à trois voies de régulation (Figure 11-2). Elle est commandée par un régulateur qui contrôle la température en entrée de chaudière. Elle

assure le mélange d'eau de retour de la distribution et d'eau chaude préparée par la chaudière.



▲ Figure 11-2 : Vanne à trois de régulation en place sur une chaudière afin d'assurer une température d'eau minimale en entrée

11.2. • Produire par plusieurs générateurs en parallèle disposant d'un circulateur commun



▲ Figure 11-3 : Générateurs en parallèle avec un circulateur commun

Les générateurs sont raccordés en parallèle. Ils disposent d'un circulateur commun.

Une vanne d'équilibrage est installée sur le circuit de chaque générateur. Elle permet d'assurer le débit requis.

Note

La mise en place d'une boucle de Tichelmann consiste à doubler les canalisations de départ ou de retour afin d'équilibrer les pertes de charge des canalisations, dans un objectif d'équilibrer les débits dans chaque générateur. Cette solution est limitée aux chaudières qui présentent des pertes de charge identiques.

La mise en séquence des générateurs selon les besoins nécessite d'interrompre le débit dans le (ou les) générateur(s) qui ne sont pas

en fonctionnement. Une vanne d'isolement tout ou rien motorisée est ainsi installée en série avec chaque générateur.

S'agissant généralement d'un circulateur à vitesse constante, selon le nombre de générateurs irrigués, le point de fonctionnement du circulateur se déplace. Ainsi, le débit dans un générateur varie suivant qu'il est seul irrigué ou non. Ce constat implique :

- de choisir le circulateur pour que son point de fonctionnement reste en permanence dans une zone acceptable ;
- de vérifier que le débit dans les générateurs reste dans les limites acceptables.

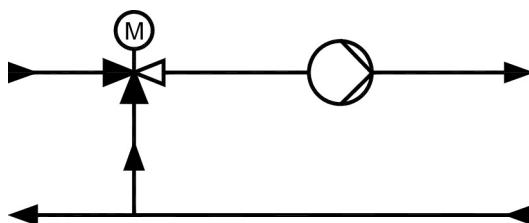
Ce circuit peut être raccordé en direct à la distribution ou bien par l'intermédiaire d'un découplage (cf. 5) : bouteille, bipasse...

Dans ce cas d'un découplage, le débit au primaire doit être en permanence supérieur au débit secondaire, quel que soit le nombre de générateurs en fonctionnement.

Les applications concernent la production de chaleur par plusieurs générateurs (chaudières, pompes à chaleur...). Ce schéma n'est pas requis pour des générateurs sans contrainte de débit, pour lesquels un débit minimum d'irrigation n'est pas imposé.

Ce schéma n'est pas conseillé pour des générateurs tels que les groupes frigorifiques qui nécessitent un débit constant.

11.3. • Réguler la température au départ d'une installation de chauffage



▲ Figure 11-4 : Régulation centralisée de la température de départ d'une installation

Dans une installation de chauffage ou de climatisation, ce schéma consiste à faire varier la température d'eau au départ de la distribution.

La vanne à trois voies de régulation est montée en mélange. Elle soutire un débit variable à la production. Par exemple, elle assure le mélange d'eau chaude en provenance de la production et d'eau à plus basse température de retour des émetteurs.

La vanne à trois voies est commandée par un régulateur en fonction de l'extérieur afin d'adapter la puissance aux besoins.

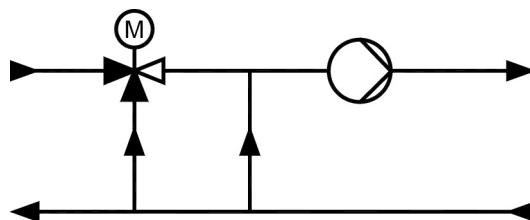
Les applications :

- installations de chauffage par radiateurs, planchers chauffants ;
- installations de ventilo-convection...

Le schéma de la (Figure 11-5) réalise un abaissement de la température d'alimentation de la distribution en réalisant un mélange en partie supérieure du bipasse.

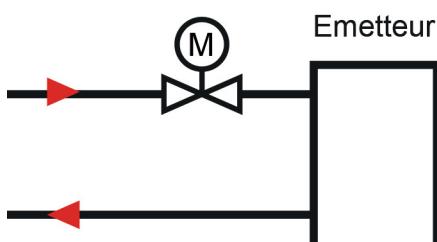
Il est utilisé dans le cas d'émetteurs à basse température (planchers chauffants par exemple) lorsque la production est à température plus élevée, nécessaire pour la distribution d'émetteurs à plus haute température.

Ce schéma permet d'assurer un fonctionnement de la vanne de régulation sur toute sa plage d'ouverture. Le débit doit être ascendant dans le bipasse. En conséquence, le débit au primaire du bipasse doit être inférieur au débit au secondaire. Un réglage doit être opéré.



▲ Figure 11-5 : Abaissement de température au moyen d'un bipasse pour alimenter un circuit de chauffage à basse température

11.4. • Réguler la puissance d'un émetteur par variation de débit



▲ Figure 11-6 : Régulation de puissance d'un émetteur par variation de débit, à température d'alimentation constante : solution avec vanne à deux voies de régulation

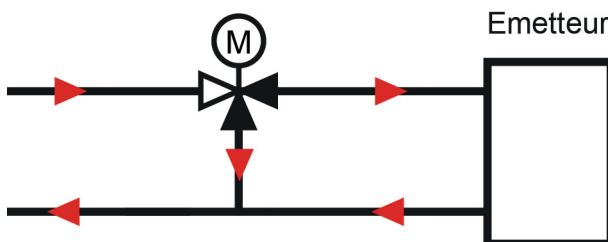
Ce montage permet d'assurer la régulation terminale au niveau des émetteurs. L'émetteur est alimenté à température constante. Le débit le parcourant est variable, permettant ainsi la variation de puissance selon les besoins.

L'usage d'une vanne de régulation à deux voies rend effective la variation de vitesse du circulateur du circuit d'alimentation et donc les réductions de consommations électriques.

Les applications :

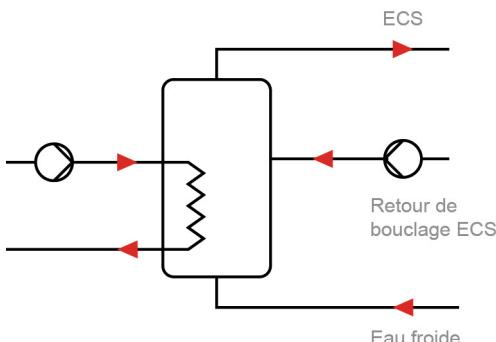
- régulation terminale de ventilo-convection, de batteries de centrales de traitement d'air...
- régulation terminale d'émetteurs de chauffage : planchers chauffants, radiateurs (robinets thermostatiques)...

Dans le schéma de la (Figure 11-7), la vanne à deux voies de régulation est remplacée par une vanne à trois voies. Le débit soutiré au réseau de distribution est constant (ne permettant pas la variation de vitesse du circulateur). Par ailleurs, l'inconvénient réside dans le recyclage d'eau vers la production, ce qui est défavorable par exemple dans le cas de chaudières à condensation (réchauffage des températures de retour).



▲ Figure 11-7 : Régulation de puissance d'un émetteur par variation de débit, à température d'alimentation constante : solution avec vanne à trois voies de régulation

11.5. • Produire l'eau chaude sanitaire avec un ballon échangeur



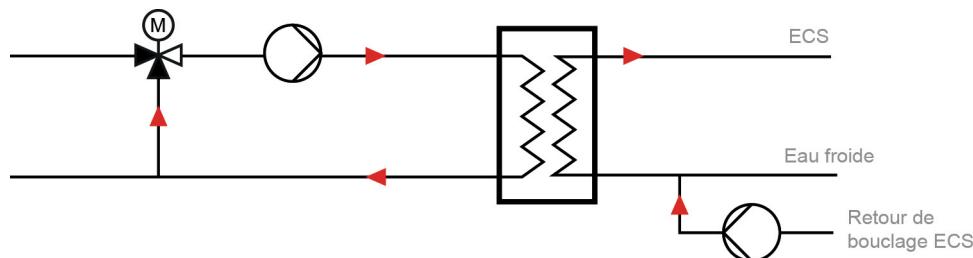
▲ Figure 11-8 : Production d'ECS avec ballon échangeur

L'eau chaude sanitaire est produite par l'intermédiaire d'un ballon comportant un échangeur immergé ou plus rarement à double-enveloppe.

Lorsque la température dans le stockage descend en dessous de la valeur de consigne fixée, le circulateur de charge du ballon est enclenché et le chauffage est interrompu.

La puissance des échangeurs est relativement importante en regard de leur volume si bien que les temps de reconstitution du stockage sont relativement rapides, généralement inférieurs à une heure. Cela permet de réaliser une recharge du ballon prioritairement par rapport au chauffage, sans impacter le confort thermique.

11.6. • Produire l'eau chaude sanitaire en instantané

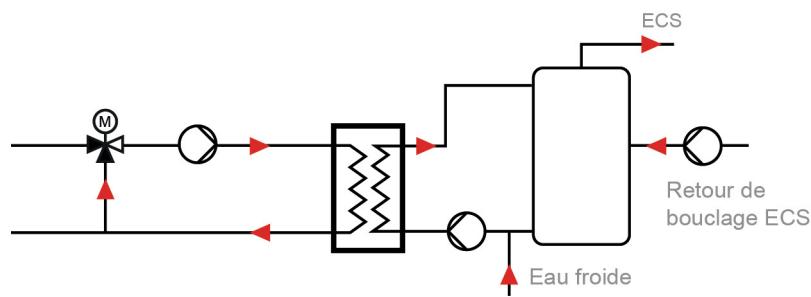


▲ Figure 11-9 : Production d'ECS instantanée

L'eau chaude sanitaire est généralement produite par l'intermédiaire d'un échangeur à plaques du fait de sa compacté et de sa rapidité de montée en température. Ce système permet de limiter les pertes thermiques et le volume des ballons, mais nécessite une puissance de production très importante.

La vanne à trois voies montée en mélange permet de faire varier la température à l'entrée de l'échangeur pour moduler sa puissance. Sur les dernières générations d'échangeur, le débit primaire est également modulé grâce à l'usage d'un circulateur à vitesse variable. Cela permet d'avoir de plus faibles températures de retour.

11.7. • Produire l'eau chaude sanitaire par un échangeur associé à un stockage



▲ Figure 11-10 : Production d'ECS par échangeur associé à un stockage

L'association d'un échangeur à plaques et d'un ou plusieurs ballons tampon permet d'assurer une production d'ECS de type semi-instantané ou semi-accumulé. En semi-accumulé, le stockage est plus important qu'en semi-instantané.

Ce système nécessite une puissance plus faible que les systèmes instantanés. En effet, les fortes demandes d'ECS sont assurées à la fois par l'échangeur et par le ballon.

Durant les pointes, l'eau froide passe à travers l'échangeur et le ballon qui ainsi se décharge.

En dehors des fortes demandes, le circulateur de charge permet de reconstituer le stockage. L'eau du ballon et l'eau froide passent à

travers l'échangeur pour être réchauffées. Le circulateur de charge peut être éventuellement arrêté après la charge du ballon.

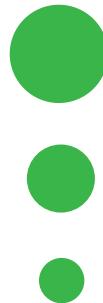
Il est impératif que le débit du circulateur de charge des ballons tampons soit supérieur au débit de bouclage pour permettre la recharge des ballons.

La vanne à trois voies montée en mélange permet de faire varier la température à l'entrée de l'échangeur pour moduler sa puissance. Sur les dernières générations d'échangeur, le débit primaire est également modulé grâce à l'usage d'un circulateur à vitesse variable.



12

Annexes



12.1. • Conversion des unités

Dans ce guide, les pressions sont exprimées en mètre d'eau (noté m eau) et les débits en mètre cube par heure (m^3/h).

La (Figure A1) présente les tableaux de conversion des unités de pression et de débit.

Exemples de conversion :

- 1 bar équivaut à 10^5 Pa ou à 10,2 m eau ;
- 1 m^3/h équivaut à 10^3 l/h ou 0,278 l/s.

Unités de PRESSION		Pa	kPa	bar	m eau	mm eau
Pascal	Pa	=	10^{-3}	10^{-5}	$1,02 \times 10^{-4}$	0,102
kilopascal	kPa	10^3	=	10^{-2}	0,102	$1,02 \times 10^2$
bar	bar	10^5	10^2	=	10,2	$1,02 \times 10^4$
mètre d'eau	m eau	$9,81 \times 10^3$	9,81	0,0981	=	10^3
millimètre d'eau	mm eau	9,81	$9,81 \times 10^{-3}$	$9,81 \times 10^{-5}$	10^{-3}	=

Unités de DEBIT		m^3/h	l/h	m^3/s	l/s
mètre cube par heure	m^3/h	=	10^3	$2,78 \times 10^{-4}$	0,278
litre par heure	l/h	10^{-3}	=	$2,78 \times 10^{-7}$	$2,78 \times 10^{-4}$
mètre cube par seconde	m^3/s	3600	$3,6 \times 10^6$	=	10^3
litre par seconde	l/s	3,6	3600	10^{-3}	=

▲ Figure A1 : Tableaux de conversion des unités de pression et de débit

12.2. • Symboles utilisés

Le tableau de la (Figure A2) présente les symboles des composants hydrauliques et de régulation des schémas.

SYMBOLE	SIGNIFICATION	SYMBOLE	SIGNIFICATION	SYMBOLE	SIGNIFICATION
	Vanne directionnelle tout ou rien motorisée		Vanne à trois voies de régulation progressive		Té de réglage de radiateur
	Vanne tout ou rien motorisée		Vanne à deux voies de régulation progressive		Vase d'expansion
	Souape de pression différentielle		Vanne d'équilibrage		Vanne d'isolation
	Robinet thermostatique		Groupe de raccordement pour vase d'expansion		Sonde de température extérieure
	Ballon échangeur ECS		Appoint électrique		Plancher chauffant
	Ensemble de protection comprenant disjoncteur, vanne d'arrêt, filtre		Radiateur		Bouteille de découplage
	Chaudière		Régulateur en fonction de l'extérieur		Régulateur pour boucle fermée
	Thermostat de sécurité (sortie tout ou rien)		Sonde de température (sortie analogique)		Pot de décantation
	Circulateur		Filtre à tamis		Pompe à chaleur
	Volume tampon à deux piquages		Volume tampon à quatre piquages		Purgeur automatique
	Souape de sécurité		Echangeur eau-eau		Clapet anti-retour
	Groupe de sécurité comprenant robinet d'arrêt, clapet anti-retour, souape de sécurité et dispositif de vidange				

▲ Figure A2 : Symboles des composants

12.3. • Lois fondamentales

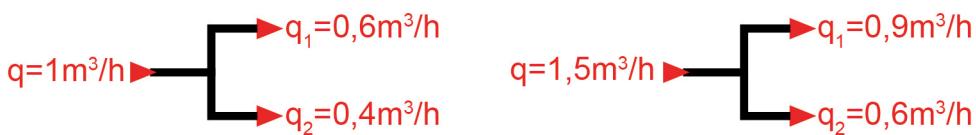
Ce chapitre rappelle les deux lois fondamentales de l'hydraulique : la proportionnalité des débits et la loi des mélanges.

Proportionnalité des débits

La répartition des débits dans des circuits en parallèle suit une règle de proportionnalité. Toute modification de débit en amont d'une dérivation a un effet identique sur tous les débits en aval : la répartition du débit entre les différentes branches reste inchangée.

Par exemple (Figure A3), pour un débit principal q d'un circuit de $1 \text{ m}^3/\text{h}$, la répartition de débit au point de dérivation est de 60 % du débit q dans la branche 1 (soit $0,6 \text{ m}^3/\text{h}$) et 40 % dans la branche 2 (soit $0,4 \text{ m}^3/\text{h}$).

Après réglage du débit principal à une valeur de $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$, la proportion de débit dans chaque circuit est conservée. Soit respectivement $1,5 \times 0,6 = 0,9 \text{ m}^3/\text{h}$ dans la branche 1 et $1,5 \times 0,4 = 0,6 \text{ m}^3/\text{h}$ dans la branche 2.

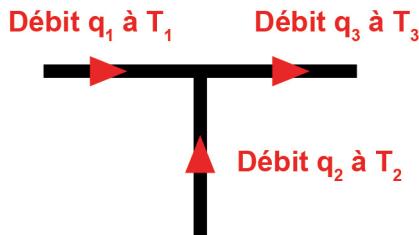


▲ Figure A3 : Illustration de la loi de proportionnalité des débits

Loi des mélanges

La jonction de deux branches définit un point de mélange (Figure A4). En ce point, la somme des débits « entrants » est égale à la somme des débits « sortants » et la puissance en entrée est égale à la puissance en sortie :

$$\begin{aligned} q_1 + q_2 &= q_3 \\ q_1 \times T_1 + q_2 \times T_2 &= q_3 \times T_3 \end{aligned}$$



▲ Figure A4 : Illustration de la loi des mélanges

12.4. • Caractéristiques des circulateurs

Un circulateur est déterminé par sa courbe caractéristique d'évolution de la pression différentielle en fonction du débit.

Les caractéristiques d'évolution du rendement et de la puissance électrique absorbée sont également à considérer (Figure A5).

Le point de fonctionnement optimal d'un circulateur est généralement choisi en partie centrale de la caractéristique, là où le rendement est maximal.

On note que :

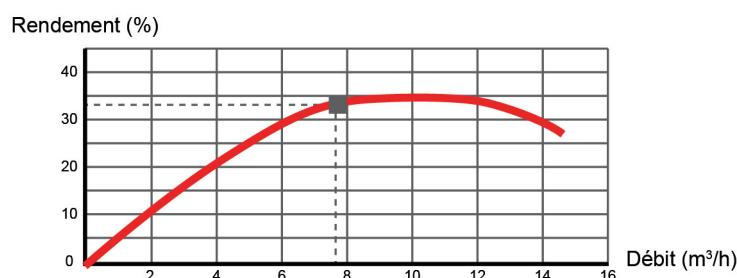
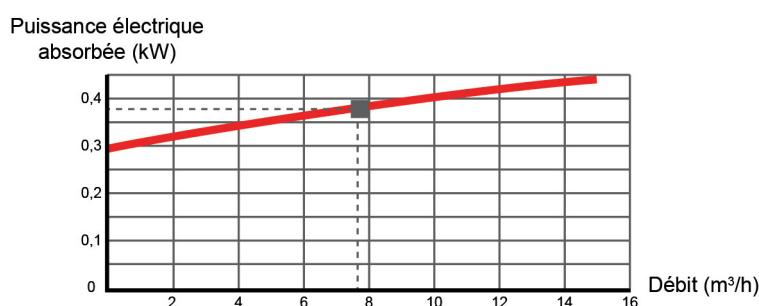
- le débit est proportionnel à la vitesse ;
- la pression différentielle est proportionnelle au carré de la vitesse ;
- la puissance électrique est proportionnelle au cube de la vitesse.

Le rendement d'un circulateur se calcule facilement pour un point de fonctionnement donné (caractérisé par un débit q et une pression différentielle Δp) en connaissant la puissance électrique absorbée :

$$\eta = \frac{q \times \Delta p}{P_{abs}}$$

Avec :

- η , le rendement du circulateur en % ;
- q , le débit au point de fonctionnement considéré en m^3/s ;
- Δp , la pression différentielle au point de fonctionnement considéré en bar ;
- P_{abs} , la puissance absorbée au point de fonctionnement considéré en W (indiquée dans les catalogues des fabricants).



▲ Figure A5 : Courbes caractéristiques d'un circulateur : pression différentielle, puissance électrique absorbée et rendement

12.5. • Méthode des Z

Par analogie avec l'électricité, il existe une relation entre les pertes de charge d'une résistance hydraulique et son débit.

Cette approche permet de faciliter les réflexions sur les circuits hydrauliques complexes.

Le coefficient Z est une donnée caractéristique d'un composant ou d'une canalisation. Sa valeur est fixe quels que soient le débit et la pression en présence.

La relation est quadratique entre les pertes de charge d'un réseau et le débit le parcourant :

$$\Delta p = Z \times q^2$$

Avec :

- Δp , les pertes de charge du réseau hydraulique considéré en m eau ;
- Z, la résistance hydraulique du réseau considéré en m eau/ (m^3/h) ;
- q, le débit circulant dans la partie du réseau hydraulique considérée en m^3/h .

Note

La formule fondamentale ci-dessus n'est valable qu'en régime turbulent. Dans le cas d'un régime d'écoulement laminaire, les pertes de charge varient linéairement avec le débit.

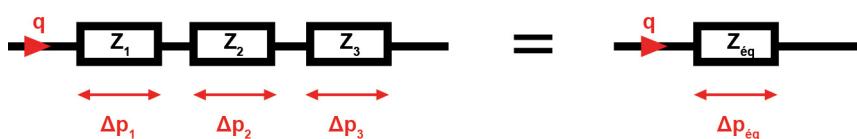
Association de composants en série

Lorsque des composants sont associés en série :

- ils sont traversés par le même débit ;
- les pertes de charge totales (de l'ensemble) sont égales à la somme des pertes de charge de chaque composant pris séparément.

On peut démontrer qu'une association de composants en série est équivalente à un composant unique dont la résistance hydraulique serait égale à la somme des résistances hydrauliques des différents composants pris séparément et traversés par le même débit q :

$$Z_{\text{éq}} = (Z_1 + Z_2 + Z_3) \text{ et } \Delta p_{\text{éq}} = Z_{\text{éq}} \times q^2$$



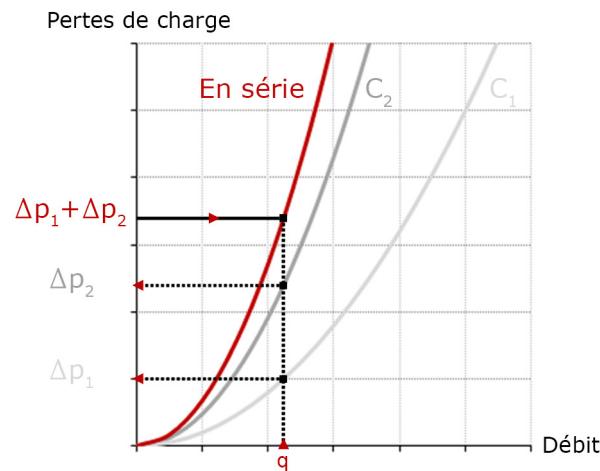
▲ Figure A6 : Schéma équivalent à l'association de résistances en série

En (Figure A7), les points de la courbe équivalente sont tracés en sommant les pertes de charge Δp_1 et Δp_2 , pour un même débit q (construction suivant une verticale).

On observe graphiquement que la résistance du circuit équivalent est plus importante que celles des circuits combinés en série.

Note

La résistance équivalente à une association de résistances en série est toujours de valeur supérieure à celle de la plus grande des résistances combinées.



▲ Figure A7 : Représentation graphique de l'association de résistances en série

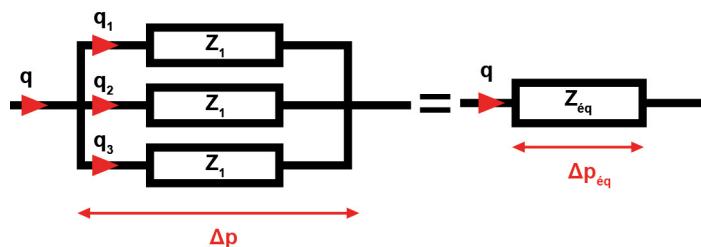
Association de composants en parallèle

Lorsque les composants sont associés en parallèle :

- les pertes de charge de chaque composant sont égales ;
- les débits entrant et sortant sont égaux à la somme des différents débits parcourant chacun des composants.

On peut démontrer qu'une association de composants en parallèle est équivalente à un composant unique traversé par la somme des débits parcourant les différentes branches :

$$Z_{eq} = \frac{1}{\left(\frac{1}{\sqrt{Z_1}} + \frac{1}{\sqrt{Z_2}} + \frac{1}{\sqrt{Z_3}} \right)^2} \text{ et } q = q_1 + q_2 + q_3$$



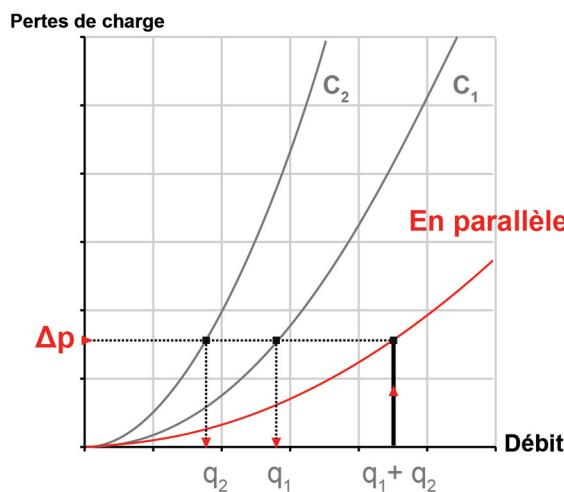
▲ Figure A8 : Schéma équivalent à l'association de résistances en parallèle

En (Figure A8), les points de la courbe équivalente sont tracés en sommant les débits q_1 et q_2 pour une même pression différentielle Δp (construction suivant une horizontale).

On observe graphiquement que la résistance du circuit équivalent est moins importante que celle des circuits combinés en parallèle : sa courbe représentative s'est « abaissée ».

Note

La résistance équivalente à une association de résistances en parallèle est toujours de valeur inférieure à la plus petite des résistances combinées.



▲ Figure A9 : Représentation graphique de l'association de résistances en parallèle

Exemples d'applications pratiques du coefficient Z

Exemple 1 : les pertes de charge d'un générateur, d'un échangeur ou d'un composant quelconque sont en général fournies pour une valeur de débit spécifiée.

La méthode des Z est utilisée pour déterminer les pertes de charge pour un débit différent du débit spécifié.

On considère les pertes de charge Δp_1 correspondant au composant parcouru par le débit q_1 et Δp_2 les pertes de charge du composant parcouru par le débit q_2 .

Par exemple, les pertes de charge d'une chaudière sont de 1 m eau sous un débit de 10 m³/h. Elles sont de 1,44 m eau sous un débit de 12 m³/h car :

$$\Delta p_1 = Z \times q_1^2 \text{ et } \Delta p_2 = Z \times q_2^2$$

donc :

$$Z = \frac{\Delta p_1}{q_1^2} = \frac{\Delta p_2}{q_2^2}$$

$$\Delta p_2 = \frac{\Delta p_1}{q_1^2} \times q_2^2 = \frac{1}{10^2} \times 12^2 = 1,44 \text{ m eau}$$

Exemple 2 : une unité terminale est calculée pour un débit nominal q de 1200 l/h sous une pression différentielle Δp de 18 kPa. La vanne d'équilibrage du circuit concerné n'a pas été réglée et l'unité se trouve soumise à une pression différentielle $\Delta p'$ de 22 kPa.

Le surdébit dans l'unité est déterminé par la méthode des Z :

$$\frac{\Delta p}{q^2} = \frac{\Delta p'}{q'^2} \text{ donc } q' = \sqrt{\frac{\Delta p'}{\Delta p}} \times q = \sqrt{\frac{22}{18}} \times 1200 = 1330 \text{ l/h}$$

Le surdébit dans l'unité terminale est de 130 l/h, soit 11 % du débit nominal.

12.6. • Caractéristiques des échangeurs

Ce chapitre présente les caractéristiques générales des échangeurs. Cette dénomination concerne les émetteurs tels que les radiateurs, les batteries à eau, les échangeurs de chaleur...

On distingue deux familles d'échangeurs :

- les échangeurs à convection forcée. Les deux fluides qui échangent sont en mouvement forcés (échangeur eau/eau, batterie à eau sur conduit aéraulique...);
- les échangeurs dits « statiques » où un seul des deux fluides est en mouvement forcé (radiateurs, planchers chauffants...).

12.6.1. • Puissance émise par un échangeur

La puissance transmise par un échangeur dépend :

- de l'écart de température entre les deux fluides de part et d'autre de la paroi d'échange ;
- du coefficient d'échange thermique global.

Elle peut être approchée par la relation suivante :

$$P = k \times \Delta T_m$$

Avec :

- k , le coefficient global d'échange ;
- ΔT_m , l'écart moyen logarithmique en K ;
- P , la puissance émise en W.

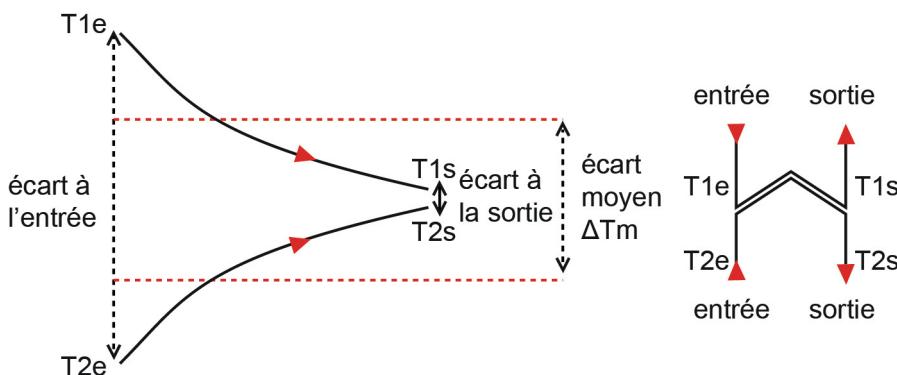
L'écart moyen logarithmique ΔT_m représente l'écart moyen entre les fluides de part et d'autre de la paroi d'échange. Son expression générale prend la forme suivante :

$$\Delta T_m = \frac{\text{écart max } i - \text{écart min } i}{\ln \left(\frac{\text{écart max } i}{\text{écart min } i} \right)}$$

Les écarts maxi et mini représentent les chutes de température aux extrémités de l'échangeur.

Par exemple, pour un échangeur co-courant (Figure A10) :

$$\Delta T_m = \frac{(T_{1e} - T_{2e}) - (T_{1s} - T_{2s})}{\ln \left(\frac{T_{1e} - T_{2e}}{T_{1s} - T_{2s}} \right)}$$



▲ Figure A10 : Représentation de l'écart moyen logarithmique dans le cas d'un échangeur co-courant

Lorsque la chute de température au primaire de l'échangeur est inférieure ou égale à 20 K, l'écart logarithmique est proche de l'écart moyen arithmétique qui s'exprime par :

$$\Delta T_m = \frac{\text{écart maxi} - \text{écart mini}}{2} = \frac{(T_{1e} - T_{2e}) - (T_{1s} - T_{2s})}{2}$$

Le coefficient d'échange global k est considéré constant pour les échangeurs à convection forcée ainsi que pour les planchers chauffants.

Pour le cas des échangeurs statiques, comme les radiateurs, mettant en jeu des phénomènes convectifs et/ou radiatifs le coefficient k dépend des niveaux de température. Il ne peut être considéré comme constant. Pour modéliser par une relation mathématique qui donne des résultats suffisamment proches de la réalité, le coefficient k est conservé constant mais un exposant n différent de 1 affecte l'écart moyen ΔT_m :

$$P = k \times \Delta T_m^n$$

Pour les radiateurs, le coefficient n est spécifique au modèle. Il est appelé coefficient de pente en température. Il est de l'ordre de 1,3.

Il est fourni par le fabricant pour la valeur de puissance normative correspondant au régime d'eau 75-65°C et une ambiance à 20°C (selon la norme NF EN 442).

La valeur du coefficient n permet de déterminer la puissance sous un autre régime de température d'eau ou une autre température ambiante.

Par exemple, pour un radiateur de puissance P_1 de 800 W donnée pour ΔTm_1 de 50 K et caractérisée par un coefficient n de 1,32, l'émission pour ΔTm_2 de 40 K est de :

$$\frac{P_2}{P_1} = \left(\frac{\Delta Tm_2}{\Delta Tm_1} \right)^n \times P_1 = \left(\frac{50}{40} \right)^{1,32} \times 800 = 596 \text{ W}$$

12.6.2. • Efficacité d'un échangeur

L'une des caractéristiques conditionnant le comportement d'un échangeur est son efficacité ε .

Elle s'exprime par le rapport entre la chute (ou l'élévation) de température subie par le fluide considéré (par exemple le fluide primaire) et la chute (ou l'élévation) maximale possible dans un échangeur idéal, c'est-à-dire l'écart des températures d'entrée des deux fluides :

$$\varepsilon = \frac{\text{chute au primaire}}{\text{écart de température à l'entrée}}$$

Dans le cas d'un émetteur tel qu'un radiateur, l'efficacité s'exprime sous la forme suivante :

$$\varepsilon = \frac{T_e - T_s}{T_e - T_a}$$

Avec :

- T_e , la température d'entrée d'eau dans l'émetteur en °C ;
- T_s , la température de sortie d'eau dans l'émetteur en °C ;
- T_a , la température de l'air ambiant en °C.

Le terme ($T_e - T_s$) correspond à l'écart de température sur l'eau, appelé « chute » de température en chauffage. Le terme ($T_e - T_a$) correspond à l'écart de température à l'entrée du radiateur, entre la température d'eau et la température ambiante, soit l'écart maximal.

L'efficacité est calculée pour les conditions de températures nominales de l'installation.

Le tableau de la (Figure A11) fournit les valeurs d'efficacité pour des régimes de températures courants. Une réflexion est menée en chapitre 10.2.2 sur la valeur de chute optimale (cf. 10.2.2).

Régime de température	Calcul	Efficacité nominale
Radiateur alimenté en régime 80-60°C (ambiance à 20°C)	$\varepsilon = \frac{80 - 60}{80 - 20}$	$\varepsilon = 0,33$
Radiateur basse température alimenté en régime 60-45°C (ambiance à 20°C)	$\varepsilon = \frac{60 - 45}{60 - 20}$	$\varepsilon = 0,37$
Plancher chauffant alimenté en régime 45-35°C (ambiance à 20°C)	$\varepsilon = \frac{45 - 35}{45 - 20}$	$\varepsilon = 0,40$

Régime de température	Calcul	Efficacité nominale
Batterie froide alimentée en régime 6-11°C (air à 26°C)	$\varepsilon = \frac{11-6}{26-6}$	$\varepsilon = 0,25$
Batterie froide alimentée en régime 7-12°C (air à 26°C)	$\varepsilon = \frac{12-7}{26-7}$	$\varepsilon = 0,26$

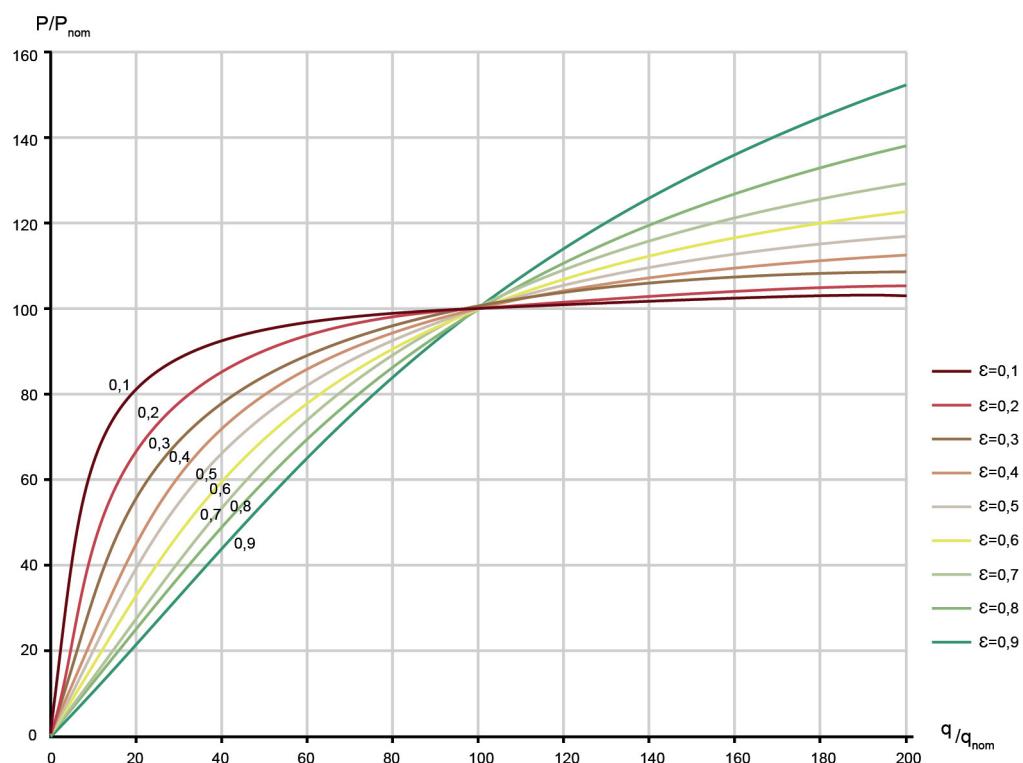
▲ Figure A11 : Valeurs d'efficacité pour des régimes de température de dimensionnement courants

12.6.3. • Caractéristique d'émission d'un échangeur

La puissance émise par un échangeur varie en fonction du débit qui l'irrigue selon les caractéristiques d'évolution de la (Figure A12). Leur courbure dépend de l'efficacité de l'échangeur.

Les courbes sont d'allure similaire pour un réglage de puissance par variation de température au moyen d'un mélange et donc du rapport de débit de mélange. Toutefois, dans ce cas, les concavités sont moins prononcées.

Notons que l'allure des courbes diffère peu dans le cas d'émetteurs à loi non-linéaire tels que les radiateurs.



▲ Figure A12 : Evolution de puissance relative en fonction du débit et de l'efficacité

La forme de ces évolutions a plusieurs conséquences :

- la nécessité de choisir une vanne de régulation de caractéristique appropriée et correctement dimensionnée (notion d'autorité, cf. 2.3.2) qui doit compenser la concavité de l'échangeur

afin d'obtenir une évolution de puissance progressive selon l'ouverture de la vanne ;

- le dimensionnement de l'émetteur pour une efficacité optimale (cf. 12.6.2) qui n'engendre pas une courbure trop prononcée.

La (figure A12) permet de constater, par exemple pour une efficacité ϵ de 0,3 :

- qu'un débit deux fois supérieur au débit nominal augmente la puissance d'à peine 10 % ;
- qu'un sous-débit de 20 % réduit la puissance de moins de 5 %.

Ainsi, le débit peut être réduit sans risquer une influence forte sur la puissance émise, tout en réduisant les coûts de circulation (consommations électriques des circulateurs). Un surdébit est inutile.

Les tableaux des (Figure A13) et (Figure A14) permettent de définir des plages de variation acceptables pour le débit, respectivement pour un réglage par variation de température au moyen d'un mélange et par variation de débit.

Ils sont utilisés pour une meilleure maîtrise des débits en connaissance de cause de l'incidence sur la puissance :

- pour réduire le débit s'il est supérieur à la valeur nominale calculée ;
- pour augmenter le débit, sur une installation existante, en cas de manque de puissance causé par un déficit de débit.

Par exemple, pour une efficacité de 0,3 sur une batterie d'une centrale alimentée à débit variable (Figure A14), une tolérance sur la puissance émise de $+/- 5\%$ est obtenue par une variation du débit autour de sa valeur nominale comprise entre -24 et +40 %.



Pour un réglage par variation de débit (Figure A14), les valeurs présentées ne tiennent pas compte de l'échange latent dans le cas d'une batterie de refroidissement.

On constate qu'une modification de débit se traduit par une variation de puissance plus conséquente dans le cas d'une régulation par variation de débit (Figure A14) que dans le cas d'une régulation par variation de température (Figure A13).



Efficacité ε	Tolérances sur le débit nominal q_1 selon la tolérance sur la puissance nominale P					
	P	-1%	+1%	-2%	+2%	-5%
0,10	-9%	+11%	-17%	+24%	-34%	+91%
0,20	-5%	+5%	-9%	+11%	-21%	+31%
0,30	-3,5%	+3,5%	-6%	+7%	-15%	+19%
0,40	-2,5%	+2,5%	-5%	+5%	-12%	+14%
0,50	-2%	+2%	-4%	+4%	-10%	+11%

▲ Figure A13 : Tolérances sur les débits pour le réglage d'une puissance par variation de température au moyen d'un mélange



Efficacité ε	Tolérances sur le débit nominal q selon la tolérance sur la puissance nominale P					
	P	-1%	+1%	-2%	+2%	-5%
0,10	-16%	+24%	-28%	+62%	-50%	(x19)
0,20	-9%	+20%	-16%	+22%	-33%	+82%
0,30	-6%	+6%	-11%	+13%	-24%	+40%
0,40	-4%	+4%	-8%	+9%	-18%	+26%
0,50	-3%	+3%	-6%	+7%	-14%	+19%

▲ Figure A14 : Tolérances sur les débits pour le réglage d'une puissance par variation de débit

12.7. • Calcul des pertes de charge

Les pertes de charge d'un circuit hydraulique sont liées :

- aux frottements contre la paroi interne de la canalisation, on parle de pertes de charge linéiques ;
- aux résistances provoquées par les singularités de parcours (variation de section, coudes, organes de réglage, autres composants...), on parle de pertes de charge singulières.

12.7.1. • Les pertes de charge linéiques

Les pertes de charge linéiques sont proportionnelles à la longueur de canalisation droite. Elles sont généralement calculées par la formule suivante :

$$\Delta p_{linéique} = j \times l$$

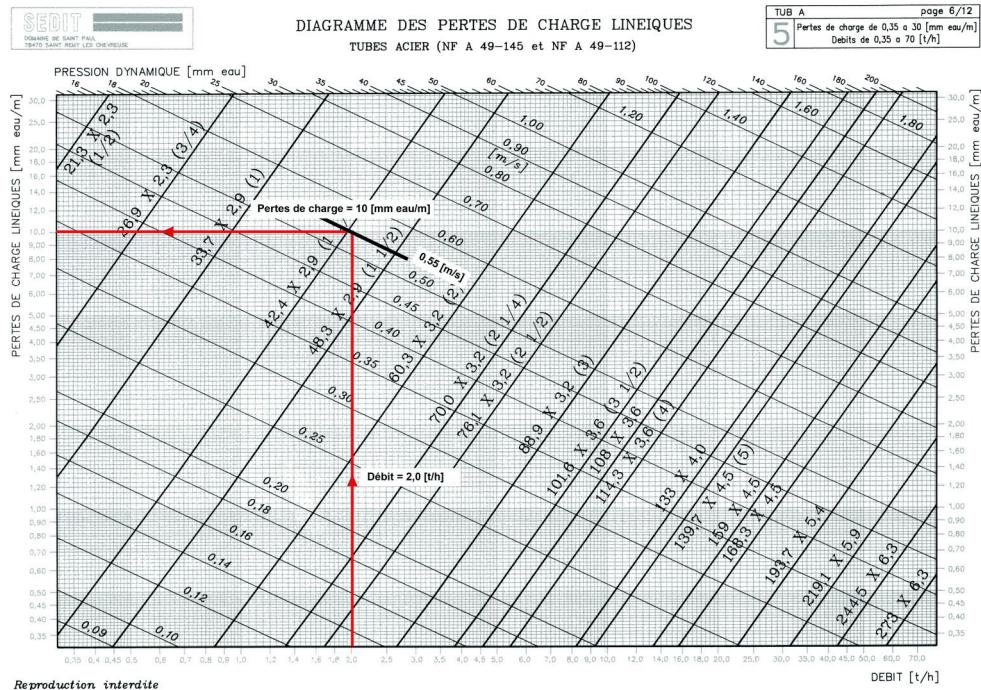
Avec :

- $\Delta p_{linéique}$, les pertes de charge linéiques en mm eau ;
- J, le coefficient de pertes de charge linéiques en mm eau/m ;
- L, la longueur de canalisation en m.

Le coefficient de pertes de charge linéiques « j » est fonction de la nature de la canalisation et de la vitesse du fluide véhiculé.

Il est généralement déterminé à partir d'abaques spécifiques pour les canalisations en cuivre, en acier et en matériau de synthèse. La lecture des diagrammes permet de déterminer la valeur de « j » en fonction du débit et du diamètre de la canalisation (Figure A15).

Certains diagrammes indiquent également la pression dynamique et la vitesse.



▲ Figure A15 : Exemple d'utilisation d'un abaque de détermination des pertes de charge linéaires

Les diagrammes sont généralement établis pour de l'eau pure. En cas d'eau glycolée, une correction doit être appliquée aux pertes de charge, ainsi qu'au débit, en fonction du pourcentage de monopropylène glycol présent dans l'installation.

Le tableau de la (Figure A16) fournit les coefficients multiplicatifs à appliquer aux valeurs pour de l'eau pure.

Concentration en antigel (monopropylène glycol)	30 %	35 %	40 %	45 %
Température de protection (°C)	-16	-20	-25	-30
Coefficient de correction de pertes de charge	1,15	1,20	1,25	1,30
Coefficient de correction de débit	1,05	1,10	1,10	1,10

▲ Figure A16 : Coefficients de correction de pertes de charge et de débit pour de l'eau glycolée par rapport à de l'eau pure (à une température moyenne de 80°C)

Si les diagrammes sont édités pour de l'eau à 80°C, il convient d'appliquer les coefficients multiplicatifs du tableau de la (Figure A17) pour des températures moyennes inférieures à ce seuil.

Température moyenne (°C)	Coefficient de correction de pertes de charge	
	Canalisation en acier	Canalisation en matériau de synthèse ou en cuivre
4	1,15	1,40
10	1,10	1,30
40	1,05	1,10
50	1,05	1,05
60-70	1,00	1,00

▲ Figure A17 : Coefficients de correction de pertes de charge en fonction de la température de l'eau par rapport à une température moyenne de 80°C

12.7.2. • Les pertes de charge singulières

Les pertes de charge singulières sont dues à la géométrie interne :

- des singularités courantes (tés, coudues...) ;
- des vannes de régulation et d'équilibrage ;
- des appareils tels que générateurs, échangeurs...

Pertes de charge des singularités courantes

Les singularités courantes sont caractérisées par un coefficient de pertes de charge singulières noté ξ , sans unité. Leur perte de charge est déterminée en multipliant ce coefficient par la pression dynamique :

$$P_{\text{singulières}} = \xi \times P_d$$

La pression dynamique s'exprime par la formule :

$$P_d = \frac{\rho \times v^2}{2 \times g}$$

Avec :

- p_d , la pression dynamique en mm eau ;
- v , la vitesse du fluide en m/s ;
- ρ , la masse volumique du fluide en kg/m³ ;
- g , l'accélération de la pesanteur (égale à 9,81 m/s²).

Les tableaux des (Figure A18) et (Figure A19) donnent respectivement les valeurs de pression dynamique pour un circuit de chauffage (température moyenne de l'eau de 70°C) et un circuit d'eau glacée (température moyenne de l'eau de 9,5°C).



Pression dynamique pour de l'eau à 70 °C (régime 80/60°C) (valeur de ρ de 977,6 kg/m ³)							
Vitesse (en m/s)	Pression dynamique (en mm eau)	Vitesse (en m/s)	Pression dyna- mique (en mm eau)	Vitesse (en m/s)	Pression dyna- mique (en mm eau)	Vitesse (en m/s)	Pression dyna- mique (en mm eau)
0,05	0,12	0,37	6,82	0,69	23,72	1,01	50,83
0,07	0,24	0,39	7,58	0,71	25,12	1,03	52,86
0,09	0,40	0,41	8,38	0,73	26,55	1,05	54,93
0,11	0,60	0,43	9,21	0,75	28,03	1,07	57,05
0,13	0,84	0,45	10,09	0,77	29,54	1,09	59,20
0,15	1,12	0,47	11,01	0,79	31,10	1,11	61,39
0,17	1,44	0,49	11,96	0,81	32,69	1,13	63,62
0,19	1,80	0,51	12,96	0,83	34,33	1,15	65,90
0,21	2,20	0,53	14,00	0,85	36,00	1,17	68,21
0,23	2,64	0,55	15,07	0,87	37,71	1,19	70,56
0,25	3,11	0,57	16,19	0,89	39,47	1,21	72,95
0,27	3,63	0,59	17,34	0,91	41,26	1,23	75,38
0,29	4,19	0,61	18,54	0,93	43,10	1,25	77,85
0,31	4,79	0,63	19,78	0,95	44,97	1,27	80,37
0,33	5,43	0,65	21,05	0,97	46,88	1,29	82,92
0,35	6,10	0,67	22,37	0,99	48,84	1,31	85,51

▲ Figure A18 : Pressions dynamiques calculées pour un circuit de chauffage pour différentes valeurs de vitesse

Pression dynamique pour de l'eau à 9,5°C (régime 7/12°C) (valeur de ρ de 998,8 kg/m ³)							
Vitesse (en m/s)	Pression dynamique (en mm eau)	Vitesse (en m/s)	Pression dyna- mique (en mm eau)	Vitesse (en m/s)	Pression dyna- mique (en mm eau)	Vitesse (en m/s)	Pression dyna- mique (en mm eau)
0,05	0,13	0,37	6,98	0,69	24,26	1,01	51,98
0,07	0,25	0,39	7,75	0,71	25,69	1,03	54,06
0,09	0,41	0,41	8,57	0,73	27,16	1,05	56,18
0,11	0,62	0,43	9,42	0,75	28,66	1,07	58,34
0,13	0,86	0,45	10,32	0,77	30,21	1,09	60,54
0,15	1,15	0,47	11,26	0,79	31,80	1,11	62,79
0,17	1,47	0,49	12,24	0,81	33,43	1,13	65,07
0,19	1,84	0,51	13,25	0,83	35,11	1,15	67,39
0,21	2,25	0,53	14,31	0,85	36,82	1,17	69,76
0,23	2,70	0,55	15,41	0,87	38,57	1,19	72,16
0,25	3,18	0,57	16,56	0,89	40,36	1,21	74,61
0,27	3,71	0,59	17,74	0,91	42,20	1,23	77,09
0,29	4,29	0,61	18,96	0,93	44,07	1,25	79,62
0,31	4,90	0,63	20,23	0,95	45,99	1,27	82,19
0,33	5,55	0,65	21,53	0,97	47,95	1,29	84,80
0,35	6,24	0,67	22,88	0,99	49,94	1,31	87,45

▲ Figure A19 : Pressions dynamiques calculées pour un circuit d'eau glacée pour différentes valeurs de vitesse

Le coefficient de pertes de charge singulières dépend principalement de la nature de l'obstacle et de ses dimensions géométriques. Les valeurs de ξ pour les singularités les plus courantes sont données dans les tableaux des (Figure A20) et (Figure A21). Elles sont à considérer en l'absence de données spécifiques.



Coefficients de pertes de charge singulières (ζ)								
Singularités du commerce								
Désignation	Diamètre intérieur (en mm et en pouce)							Présentation
	10 3/8	15 1/2	20 3/4	25 1	32 1 1/8	40 1 1/2	≥ 50 ≥ 2	
Coude arrondi à 90°	2	1,5	1	1	0,5	0,5	0,5	
Coude équerre à 90°	2,5	2	1,5	1,5	1	1	1	
Coude à 180° (double-coude)	2,5	2,5	2	2	1	1	1	
Singularités façonnées								
Coude arrondi à 90°	0,5							
Coude équerre à 90°	1,3							
Coude équerre à 60°	0,8							
Coude équerre à 45°	0,4							
Dévoiement de type chapeau de gendarme	0,5							
Dévoiement simple	1							
Dévoiement de type baillonnette	2							
Changement brusque de section	1							

▲ Figure A20 : Coefficients de pertes de charge singulières ξ pour des coudes

Coefficients de pertes de charge singulières (ζ)					
Dérivation d'équerre Séparation		0 1,5	Dérivation oblique Séparation		0 0,5
Dérivation d'équerre Jonction		0,5 1	Dérivation oblique Jonction		0 0,5
Té droit Séparation		3 3	Culotte Séparation		1,5 1,5
Té droit Jonction		3	Culotte Jonction		1,5

▲ Figure A21 : Coefficients de pertes de charge singulières ξ au droit de jonctions de canalisations

Pertes de charge des vannes

Les vannes, de régulation notamment, sont caractérisées par une valeur de K_v . Le K_v est le débit en m^3/h traversant une vanne soumise à une pression différentielle de 1 bar (cf. 2.2).

Pour un débit donné, la perte de charge d'une vanne s'exprime donc par la formule :

$$\Delta p = \left(\frac{q}{Kv} \right)^2$$

Si l'eau n'a pas une masse volumique de 1000 kg/m^3 , la relation devient :

$$\Delta p = \left(\frac{q}{Kv} \right)^2 \times \rho / 1000$$



Avec :

- Δp , la perte de charge en bar ;
- q , le débit en m^3/h ;
- Kv , la caractéristique de la vanne en m^3/h sous 1 bar ;
- ρ , la masse volumique du fluide en kg/m^3 .



Dans les formules, les pertes de charge sont exprimées en bar et le débit en m^3/h .

Pertes de charge des appareils

La perte de charge d'un appareil est généralement indiquée par le fabricant pour une valeur de débit spécifiée.

Les pertes de charge sont calculées pour un autre débit grâce à la formule des Z (cf. 12.5) par la relation suivante :

$$\Delta p_2 = \frac{\Delta p_1}{q_1^2} \times q_2^2$$

Sachant que l'on considère les pertes de charge Δp_1 , correspondant à l'appareil parcouru par le débit q_1 et Δp_2 les pertes de charge de l'appareil parcouru par le débit q_2 .

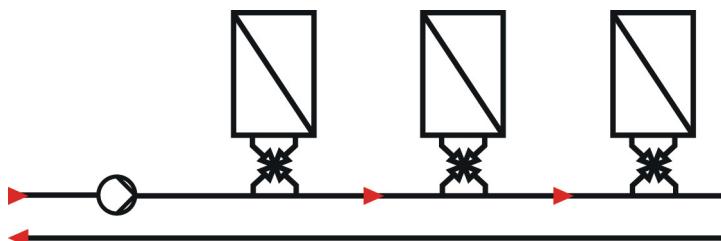


Dans la formule, les valeurs de pertes de charge et de débits doivent être exprimées respectivement dans les mêmes unités.

12.8. • Les architectures de distribution

Le monotube dérivé

La distribution en monotube dérivé consiste à irriguer les différents émetteurs par une fraction du débit de la boucle. La dérivation est généralement assurée par un robinet à vanne quatre voies spécifique.



▲ Figure A22 : Distribution monotube dérivée

Dans cette configuration, la température à l'entrée d'un émetteur dépend de l'émission de ceux qui le précèdent. Il est donc préférable d'alimenter en premier les émetteurs les plus puissants.

Par ailleurs, il est conseillé :

- de limiter la puissance émise par boucle et donc le nombre d'émetteurs (entre 5 et 8 au maximum) ;
- de choisir un rapport de dérivation (débit de l'émetteur/débit de la boucle) compris entre 0,2 et 0,50.

A noter qu'un réseau monotube ne comporte pas d'organe d'équilibrage au niveau des émetteurs.

Il présente l'intérêt de limiter les longueurs de conduites et les pertes thermiques.

Note

Le monotube série dans lequel la totalité du débit passe par l'émetteur n'existe plus car il ne permet pas la mise en place d'une régulation terminale (robinet thermostatique).



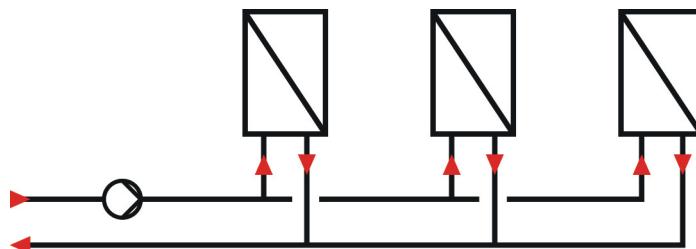
La température d'entrée au niveau des émetteurs n'est pas constante. Il faut tenir compte de cette donnée lors du dimensionnement des émetteurs.

Le bitube

En distribution bitube, les émetteurs desservis sont alimentés à une température d'eau identique.

La distribution bitube se compose classiquement d'une canalisation d'amenée d'eau chaude et d'une canalisation de retour (d'où la dénomination bitube). En collectif, les canalisations pour la distribution se ramifient en plusieurs colonnes.

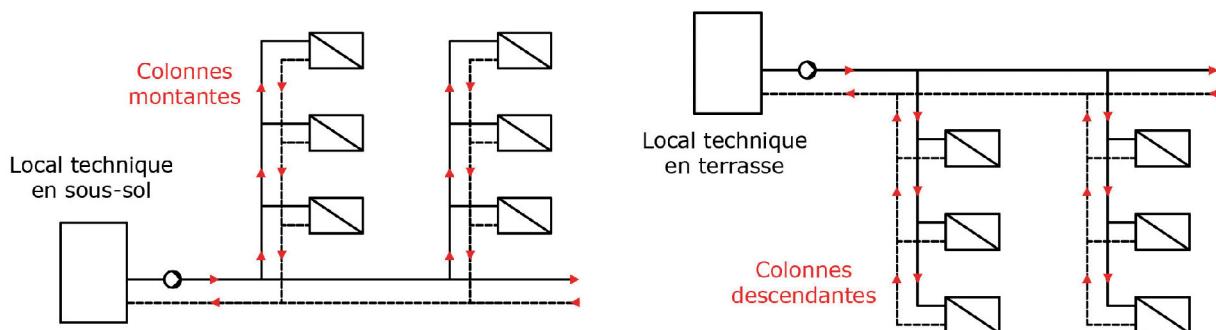
La répartition des débits dans les émetteurs doit être assurée en équilibrant les différentes branches du réseau.



▲ Figure A23 : Distribution bitube

On distingue les distributions bitubes de type parapluie ou chandelle. La distribution parapluie consiste en une distribution verticale par le haut. Elle comporte plusieurs colonnes descendantes.

Pour une distribution de type chandelle, la distribution est verticale par le bas. Elle comporte plusieurs colonnes montantes.



▲ Figure A24 : Distribution bitube en parapluie (à gauche) et en chandelle (à droite)



L'équilibrage des débits dans les réseaux est indispensable au fonctionnement de l'installation.

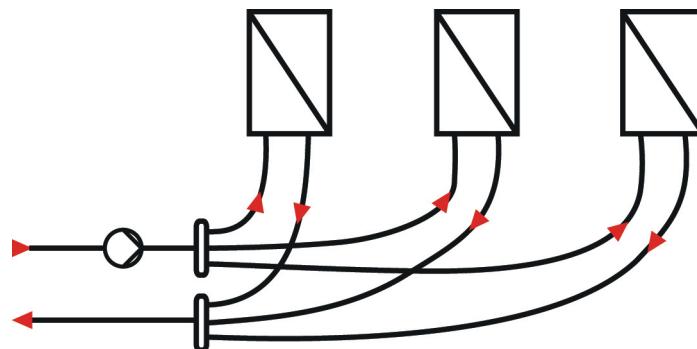
L'hydrocablé

La distribution hydrocablée consiste à raccorder chaque émetteur par une boucle indépendante. Comme en bitube, tous les émetteurs sont irrigués à une température d'eau identique.

Le principe induit des longueurs de canalisations élevées qui peuvent engendrer des surchauffes dans les pièces où sont situés les collecteurs car la densité de canalisations est alors importante.

L'intérêt de l'hydrocablé réside dans l'interruption du débit dans la boucle en absence de besoin.

L'opération d'équilibrage est facilitée. Elle est centralisée au niveau des collecteurs de raccordement.



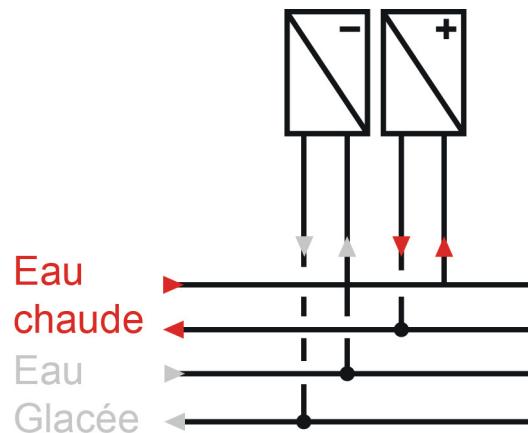
▲ Figure A25 : Distribution hydrocâblée



Les distributions hydrocâblées présentent des longueurs de canalisations et une densité de tubes importantes qui peut conduire à des surchauffes.

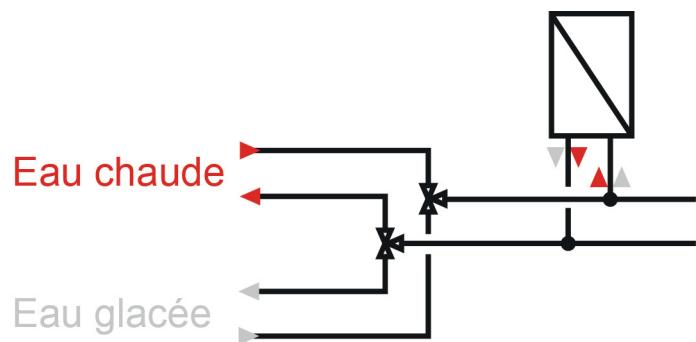
Les distributions mixtes chaud/froid

Dans les réseaux 4 tubes, les émetteurs sont alimentés par deux circuits d'eau indépendants. La présence de deux circuits permet de chauffer certains locaux et d'en rafraîchir d'autres. Cette solution est caractérisée par un coût élevé lié aux longueurs des canalisations.



▲ Figure A26 : Distribution 4 tubes

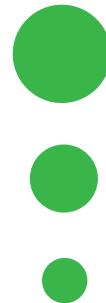
Le réseau 2 tubes dessert des émetteurs composés d'une batterie unique, alimentée en chaud ou en froid. Le dispositif « change-over » permet de basculer de la production calorifique à la production frigorifique et vice-versa. En mi-saison, des inconforts ponctuels peuvent être observés dans le cas de besoins opposés dans les locaux ou de besoins de chauffage et de rafraîchissement dans une même journée par exemple.



▲ Figure A27 : Distribution 2 tubes avec « change-over »

13

Références



13.1. • Références réglementaires

- Directive européenne 2005/32/CE du 6 juillet 2005 établissant un cadre pour la fixation d'exigences en matière d'écoconception applicables aux produits consommateurs d'énergie
- Directive européenne 2009/125/CE du 21 octobre 2009 établissant un cadre pour la fixation d'exigences en matière d'écoconception applicables aux produits liés à l'énergie
- Règlement européen n°641/2009 de la commission du 22 juillet 2009 portant application de la directive 2005/32/CE du parlement européen et du Conseil concernant les exigences d'écoconception applicables aux circulateurs sans presse-étoupe indépendants et aux circulateurs sans presse-étoupe intégrés dans des produits
- Décret du 26 octobre 2010 relatif aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des constructions
- Décret du 18 mai 2011 relatif aux attestations de prise en compte de la réglementation thermique et de réalisation d'une étude de faisabilité relative aux approvisionnements en énergie pour les bâtiments neufs ou les parties nouvelles de bâtiments
- Décret du 28 décembre 2012 relatif aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des constructions de bâtiments
- Arrêté du 3 mai 2007 relatif aux caractéristiques thermiques et à la performance énergétique des bâtiments existants
- Arrêté du 26 octobre 2010 relatif aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments



- Arrêté du 28 décembre 2012 relatif aux caractéristiques thermiques et aux exigences de performance énergétique des bâtiments nouveaux et des parties nouvelles de bâtiments autres que ceux concernés par l'article 2 du décret du 26 octobre 2010
- Cahier des Clauses Techniques Générales (CCTG) – Marchés publics de travaux d'installation de génie climatique – N°2015 – Commission centrale des marchés (abrogé depuis le 1^{er} juillet 2012)

13.2. • Références normatives

- NF DTU 45.2 : Travaux d'isolation – Isolation thermique des circuits, appareils et accessoires de -80°C à +650°C
- NF DTU 60.5 : Travaux de bâtiment – Canalisations en cuivre – Distribution d'eau froide et chaude sanitaire, évacuation d'eaux usées, d'eaux pluviales, installations de génie climatique
- NF DTU 60.11 : Règles de calcul des installations de plomberie sanitaire et des installations d'évacuation d'eau pluviales
- NF DTU 60.33 : Canalisations en polychlorure de vinyle non plastifié. Évacuation d'eaux usées et d'eaux vannes
- DTU 65.10 : Canalisations d'eau chaude ou froide sous pression et canalisation d'évacuation des eaux usées et des eaux pluviales à l'intérieur des bâtiments – Règles générales de mise en œuvre
- NF DTU 65.11 : Travaux de bâtiment – Dispositifs de sécurité des installations de chauffage central concernant le bâtiment
- NF DTU 65.12 : Installations solaires thermiques avec des capteurs vitrés
- NF DTU 65.14 : Exécution de planchers chauffants à eau chaude
- NF EN 215 : Robinets thermostatiques d'équipement du corps de chauffe – Exigences et méthodes d'essai
- NF EN 442 : Radiateurs et convecteurs – Partie 1 : spécifications et exigences techniques
- NF EN 1057 : Cuivre et alliages de cuivre – tubes ronds sans soudure en cuivre pour l'eau et le gaz dans les applications sanitaires et de chauffage
- NF EN 10216-1 : Tubes sans soudure en acier pour service sous pression – conditions techniques de livraison – partie 1 : tubes en acier non allié avec caractéristiques spécifiées à température ambiante
- NF EN 10255 : Tubes en acier non allié soudables et filetables – conditions techniques de livraison



- NF EN 12828 : Conception des systèmes de chauffage à eau
- NF EN 12831 : Système de chauffage dans les bâtiments – Méthode de calcul des déperditions calorifiques de base
- NF EN 14303 : Produits isolants thermiques pour l'équipement du bâtiment et les installations industrielles – Produits manufacturés à base de laines minérales (MW) – Spécification
- NF EN 14304 : Produits isolants thermiques pour l'équipement du bâtiment et les installations industrielles – Produits manufacturés en mousse élastomère flexible (FEF) – Spécification
- NF EN 14305 : Produits isolants thermiques pour l'équipement du bâtiment et les installations industrielles – Produits manufacturés en verre cellulaire (CG) – Spécification
- NF EN 14307 : Produits isolants thermiques pour l'équipement du bâtiment et les installations industrielles – Produits manufacturés en mousse de polystyrène extrudé (XPS) – Spécification
- NF EN 14308 : Produits isolants thermiques pour l'équipement du bâtiment et les installations industrielles – Produits manufacturés en mousse rigide de polyuréthane (PUR) et en mousse polyisocyanurate (PIR) – Spécification
- NF EN 14313 : Produits isolants thermiques pour l'équipement du bâtiment et les installations industrielles – Produits manufacturés en mousse de polyéthylène (PEF) – Spécification
- NF EN 14314 : Produits isolants thermiques pour l'équipement du bâtiment et les installations industrielles – Produits manufacturés en mousse phénolique (PF) – Spécification
- NF EN ISO 15874-2 : Systèmes de canalisations en plastique pour les installations d'eau chaude et froide – Polypropylène (PP) – Partie 2 : Tubes
- NF EN ISO 15875-2 : Systèmes de canalisations en plastique pour les installations d'eau chaude et froide – polyéthylène réticulé (PE-X) – Partie 2 : Tubes
- NF EN ISO 15876-2 : Systèmes de canalisations en plastique pour les installations d'eau chaude et froide – Polybutène (PB) – Partie 2 : Tubes
- NF EN 16297-1 : Pompes – Pompes rotodynamiques – circulateurs sans presse-étoupe – Partie 1 : Exigences générales et procédures pour les essais et le calcul de l'indice d'efficacité énergétique (EEI)
- NF EN 16297-2 : Pompes – Pompes rotodynamiques – circulateurs sans presse-étoupe – Partie 2 : calcul de l'indice d'efficacité énergétique (EEI) pour les circulateurs indépendants

- NF EN 16297-3 : Pompes – Pompes rotodynamiques – circulateurs sans presse-étoupe – Partie 3 : calcul de l'indice d'efficacité énergétique (EEI) pour les circulateurs intégrés dans des produits
- NF EN ISO 23993 : Produits isolants thermiques pour l'équipement du bâtiment et les installations industrielles – Détermination de la conductivité thermique utile
- NF EN ISO 12241 : Isolation thermique des équipements du bâtiment et des installations industrielles – Méthodes de calcul

13.3. • Autres documents

- Rééquilibrage des circuits de chauffage, COSTIC, SEDIT Editions, 1996
- Chaufferie aide mémoire, COSTIC, Climapoche, 2008
- Cahier de notes Savoir-Faire : Circulateurs pour les circuits de chauffage, COSTIC, 2010
- Cahier de notes Savoir-Faire : Les équipements de prévention de l'embouage des circuits de chauffage, COSTIC, 2004
- REFCLIM 133 : Schémas-types de circuits hydroniques de chaufferie, COSTIC, 2009
- MAP HYDRAULIQUE Guide n°7 : Mise au point des installations hydrauliques, AICVF, COSTIC, PYC Edition, 1994
- Manuel de la régulation, René Cyssau, ACR, SEDIT Edition, 2006
- Fondamentaux d'hydraulique pratique, J. La Sala, 2011
- Froid indirect pratique, J. La Sala, THETILA Editions, 2009
- Mémoclim 2006-1 : Le Mémento du Génie Climatique (tome 1), Roger Cadiergues, SEDIT Edition, 2006
- Mémoclim 2006-2 : Le Mémento du Génie Climatique (tome 2), Roger Cadiergues, SEDIT Edition, 2006
- L'équilibrage hydraulique global, Robert Petitjean, Tour&Andersson AB, 1994
- Diagrammes des pertes de charge linéaires – eau : TUB A : Acier, COSTIC
- Diagrammes des pertes de charge linéaires – eau : TUB C : Cuivre, COSTIC
- Diagrammes des pertes de charge linéaires – eau : TUB P : Plastique, COSTIC
- Conception et dimensionnement des volumes tampons, Programme RAGE, Éditeur AQC, 2014
- Bouteilles et bipasses hydrauliques, Fascicule et vidéo, COSTIC, 1991

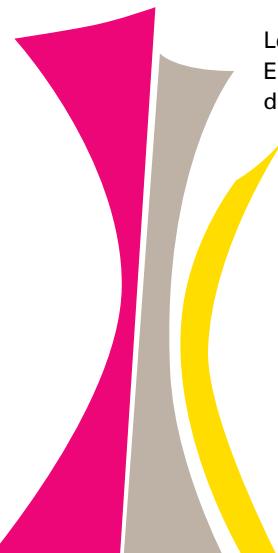
PARTENAIRES du Programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »



- Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) ;
- Association des industries de produits de construction (AIMCC) ;
- Agence qualité construction (AQC) ;
- Confédération de l'artisanat et des petites entreprises du bâtiment (CAPEB) ;
- Confédération des organismes indépendants de prévention, de contrôle et d'inspection (COPREC Construction) ;
- Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) ;
- Électricité de France (EDF) ;
- Fédération des entreprises publiques locales (EPL) ;
- Fédération française du bâtiment (FFB) ;
- Fédération française des sociétés d'assurance (FFSA) ;
- Fédération des promoteurs immobiliers de France (FPI) ;
- Fédération des syndicats des métiers de la prestation intellectuelle du Conseil, de l'Ingénierie et du Numérique (Fédération CINO) ;
- GDF SUEZ ;
- Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie ;
- Ministère de l'Égalité des Territoires et du Logement ;
- Plan Bâtiment Durable ;
- SYNTEC Ingénierie ;
- Union nationale des syndicats français d'architectes (UNSFA) ;
- Union nationale des économistes de la construction (UNTEC) ;
- Union sociale pour l'habitat (USH).



Les productions du Programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont le fruit d'un travail collectif des différents acteurs de la filière bâtiment en France.



CIRCUITS HYDRAULIQUES COMPOSANTS ET RÈGLES DE CONCEPTION

SEPTEMBRE 2015

NEUF-RÉNOVATION

Ce guide a pour objet de rassembler et mettre à jour les indications éparses et les règles de l'art de l'hydraulique, à la lumière des contraintes actuelles.

Il fournit les indications de conception et de choix des équipements pour améliorer l'efficacité énergétique des réseaux : réduction des consommations des circulateurs, qualités des régulations (vannes, autorité, équilibrage...), optimisation du fonctionnement.

Les solutions simples peuvent être garantes de ces qualités, à condition qu'elles soient mises en œuvre en considérant les contraintes spécifiques des installations. D'autre part, la résolution des problèmes liés à l'hydraulique doit résulter d'une approche globale ; ceci dans le but de tenir compte des interactions avec les domaines de la thermique et de l'automatique.

Ce guide traite des réseaux d'eau fermés pour des applications de chauffage, de production d'eau chaude sanitaire ou d'eau glacée, quelle que soit la destination : résidentiel et tertiaire, individuel et collectif, neuf et rénové.

Il est structuré en quatre parties :

- Les composants hydrauliques ;
- La conception des installations ;
- Les schémas élémentaires ;
- Les annexes présentant les fondamentaux de l'hydraulique et la bibliographie.

Le guide proposé se veut explicatif, voire pédagogique, et largement illustré.

Il s'adresse, de par son contenu, aux bureaux d'études et entreprises chargés de la conception et du dimensionnement des circuits hydrauliques. Ce document de référence est également utile pour les besoins de formation, tant initiale que continue, et pour le personnel d'exploitation des installations de génie climatique.