

Ce livre a été écrit pour répondre à une demande réitérée : **expliquer en termes simples, sans formule, les principaux problèmes conceptuels et dimensionnels qui se posent en matière d'émission de chaleur, d'équilibrage hydraulique, de régulation et de programmation.**

Nous avons choisi de les traiter sous forme de "questions-réponses" pour nous affranchir plus facilement des contraintes qui se seraient rapidement imposées si nous avions adopté un type d'exposé plus traditionnel. La liberté d'expression de ce procédé rend plus vivant et par là plus attractif des domaines généralement considérés par le praticien comme rébarbatifs sinon difficiles. En contre-partie il ne faut pas s'attendre à une présentation méthodique et "linéaire" des problèmes car, comme lors d'un entretien, les questions partent dans tous les sens et donnent naissance à des cheminements arborescents. Cet ouvrage ne prétend se substituer à aucun autre car il ne traduit pas un programme d'enseignement mais, plus simplement, rassemble des questions diverses auxquelles on est forcément confronté, un jour ou l'autre, dès lors que l'on est amené à concevoir, à dimensionner, à réaliser ou à régler des installations de chauffage à eau chaude.

Donc pas de démonstration, des appels fréquents à l'intuition et de nombreux renvois destinés à guider le lecteur dans un texte ou par la force des choses les notions ne sont pas toujours présentées dans un ordre apparemment logique. Cependant malgré notre souci de clarté et le mode d'expression retenu, il ne faudrait pas croire que tout est simple pour autant et certaines des questions traitées, il faut bien le reconnaître, demandent un effort de réflexion personnel pour être vraiment comprises, surtout si l'on souhaite s'en tenir strictement au texte, sans envisager d'aller plus loin.

Mais tout expliquer sans formule peut aussi laisser sur sa faim celui qui, non content de comprendre, voudrait aussi appliquer et par conséquent calculer...

Nous avons finalement adopté une solution de compromis en présentant pour un grand nombre de "questions-réponses" des illustrations numériques et/ou graphiques indispensables à la mise en pratique des notions exposées. Ainsi l'on pourra choisir selon ses besoins et ce d'autant plus facilement que chacune des "questions-réponses" a été rédigée de telle façon qu'elle ne fait jamais référence à la formule ou au graphique correspondant.

Nous avons par ailleurs simplifié la présentation de certains problèmes qui ont déjà fait l'objet de développements approfondis dans la littérature technique au profit de questions plus nouvelles ou plus difficiles d'accès. C'est ainsi que tout ce qui touche à la thermo-hydraulique des chaufferies a été écarté et qu'en matière de régulation-programmation nous nous sommes vraiment limités aux notions essentielles.

Un tableau des unités et symboles employés, un recueil de quelques propriétés physiques de l'eau, une présentation pratique des principales formules physico-mathématiques à utiliser pour les applications numériques et un glossaire complètent cet ouvrage qui, nous l'espérons devrait intéresser aussi bien le praticien que l'étudiant.

Pour compléter sur des points précis les sujets développés dans les Q/R et permettre éventuellement au lecteur de contrôler ses connaissances antérieures ou acquises, des **questions subsidiaires (QS)** sont proposées à la fin de chaque partie... et sont résolues en fin d'ouvrage.

INTRODUCTION page 03**I/ QUESTIONS-RÉPONSES****> Émission de chaleur**

(Q/R) ❶ Quel est le principe de fonctionnement d'un émetteur de chaleur ?

page 13

(Q/R) ❷ Comment détermine-t-on les débit et température d'eau ?

page 14

(Q/R) ❸ Peut-on préciser ce que l'on doit comprendre par "ambiance intérieure" ?

page 15

(Q/R) ❹ Dans ces conditions cela a-t-il un sens de se référer à la température intérieure d'un local ?

page 15

(Q/R) ❺ Quelle température mesure-t-on alors dans un local ?

page 16

(Q/R) ❻ Quelle doit être la puissance calorifique d'un émetteur ?

page 16

(Q/R) ❼ Sous quelle forme le fabricant d'émetteurs donne-t-il le dimensionnement de ses appareils ?

page 17

(Q/R) ❽ Comment sélectionne-t-on un radiateur ?

page 17

(Q/R) ❾ Comment peut-on faire pour tenir compte du surdimensionnement évoqué ci-avant ?

page 18

(Q/R) ❿ Comment calculer précisément la réduction de débit indispensable pour obtenir exactement l'émission calorifique souhaitée ?

page 18

(Q/R) ⓫ Que devient la température intérieure d'équilibre d'un local chauffé par un émetteur dont la température d'eau à l'entrée est inférieure à la valeur prévue ?

page 19

(Q/R) ⓬ La température de l'eau distribuée aux émetteurs tend à diminuer au fur et à mesure de l'éloignement de la tête de réseau. Comment en tenir compte dans les calculs de dimensionnement ?

page 19

(Q/R) ⓭ Que devient la température intérieure d'équilibre d'un local chauffé par un émetteur alimenté avec un débit d'eau inférieur au débit prévu ?

page 20

(Q/R) ⓮ En cas d'apports calorifiques dus, par exemple, à l'ensoleillement ou à l'éclairage, comment évolue la température intérieure d'un local ?

page 20

(Q/R) ⓯ Le phénomène d'autorégulation ci avant évoqué entraîne-t-il une baisse de la consommation de chauffage ?

page 21

(Q/R) ⓰ La position de l'émetteur dans le local a-t-elle une influence sur l'émission de chaleur ?

page 21

(Q/R) ⓱ L'habillage éventuel d'un émetteur peut-il diminuer l'émission de chaleur ?

page 22

► Questions subsidiaires page 22**> Équilibrage hydraulique**

(Q/R) ⓲ Qu'est ce qu'une installation équilibrée ?

page 23

(Q/R) ⓳ Les déséquilibres temporaires ne constituent-ils pas également une source d'inconfort pour les occupants ?

page 24

(Q/R) ⓴ Quelles sont alors les principales sources de déséquilibre permanent ?

page 24

(Q/R) ⓵ Le déséquilibre hydraulique est-il une source fréquente et significative du déséquilibre thermique ?

page 24

- (Q/R) 22 L'absence d'organe d'équilibrage dans un réseau de distribution est-il toujours synonyme de déséquilibre ?
page 25
- (Q/R) 23 Quel est le rôle des organes d'équilibrage dans l'équilibre hydraulique des circuits et des émetteurs ?
page 25
- (Q/R) 24 Comment déterminer précisément le réglage d'un organe d'équilibrage ?
page 26
- (Q/R) 25 Qu'est ce que l'autorité hydraulique d'un organe d'équilibrage ?
page 26
- (Q/R) 26 Quels sont les inconvénients d'une installation déséquilibrée ?
page 27
- (Q/R) 27 Ne peut-on pas corriger le déséquilibre par un réglage approprié de la loi de régulation centrale ?
page 27
- (Q/R) 28 Les organes d'équilibrage font-ils l'objet des mêmes règles de dimensionnement que celles en usage pour les organes de réglage ?
page 28
- (Q/R) 29 Est-ce la seule manière de caractériser un organe de réglage ?
page 28
- (Q/R) 30 Quel est alors l'intérêt du coefficient Z ?
page 29
- (Q/R) 31 Quel est l'inconvénient d'une faible ouverture des organes d'équilibrage ?
page 29
- (Q/R) 32 Quelle est la définition exacte du coefficient K_v ?
page 30
- (Q/R) 33 Est-il pertinent de parler de coefficient K_v ou Z d'un ensemble d'éléments ou même d'une installation complète ?
page 30
- (Q/R) 34 Quelle peut être l'utilité de connaître le coefficient K_v ou Z d'une installation ?
page 31
- (Q/R) 35 Pour équilibrer une installation de chauffage faut-il nécessairement procéder au calcul hydraulique préalable des circuits ?
page 31
- (Q/R) 36 Qu'est ce qu'un organe d'équilibrage avec DMD ?
page 32
- (Q/R) 37 Dans quels cas peut-on alors se dispenser de procéder au calcul hydraulique des circuits et se contenter de régler directement les débits à l'aide des organes d'équilibrage avec DMD ?
page 32
- (Q/R) 38 Comment doit-on procéder pour rééquilibrer une installation existante ?
page 33
- (Q/R) 39 Avant d'aller plus loin peut-on savoir pourquoi une installation récente se trouve suffisamment déséquilibrée pour mériter une intervention ?
page 33
- (Q/R) 40 Le déséquilibre des installations bien plus anciennes est-il justifiable des mêmes causes ?
page 34
- (Q/R) 41 Comment détermine-t-on les débits si l'on ne dispose pas des caractéristiques de l'installation ?
page 35
- (Q/R) 42 Si l'on choisit de mettre en œuvre des organes d'équilibrage avec DMD, comment devrait-on s'y prendre pour rééquilibrer les circuits ?
page 35
- (Q/R) 43 Comment régler les organes d'équilibrage des émetteurs si l'on n'effectue pas de calcul ?
page 36
- (Q/R) 44 Imaginons que l'on installe des organes d'équilibrage avec DMD sur tous les émetteurs, comment procéder à leur réglage ?
page 37
- (Q/R) 45 Comment choisit-on le premier émetteur à régler (émetteur de référence) ?
page 37
- (Q/R) 46 La procédure de réglage est-elle modifiée si les organes d'équilibrage ont une faible autorité hydraulique ?
page 37

(Q/R) 47 Que peut-on faire lorsque le débit dans l'émetteur de référence est trop faible pour être mesuré ?

page 38

(Q/R) 48 La méthode dite "du réglage référencé discret" est-elle donc parfaitement rigoureuse ?

page 39

(Q/R) 49 Comment peut-on alors éliminer tout risque d'erreur de réglage ?

page 39

(Q/R) 50 A-t-on ainsi fait le tour des méthodes de rééquilibrage utilisables lorsque l'on dispose d'organes d'équilibrage avec DMD ?

page 40

(Q/R) 51 Et si maintenant on dispose en complément d'organes d'équilibrage en pieds de colonnes, comment adapter les précédentes méthodes à cette nouvelle situation ?

page 40

► Questions subsidiaires page 41

La régulation-programmation

(Q/R) 52 Qu'est-ce qu'une régulation centrale (ou collective) ?

page 42

(Q/R) 53 Quelle relation y-a-t-il entre la température extérieure et la température de l'eau ?

page 42

(Q/R) 54 Peut-on préciser ce que sont les points extrêmes et la pente ?

page 43

(Q/R) 55 Que se passe-t-il si l'exposant n de l'émetteur est différent de l'unité ?

page 43

(Q/R) 56 Que se passe-t-il lorsque des émetteurs, raccordés sur un même circuit régulé, ont des exposants n différents les uns des autres ?

page 44

(Q/R) 57 Que faut-il comprendre par régulateur auto-adaptatif ?

page 44

(Q/R) 58 Quels sont les avantages d'une régulation centrale fonction de la température extérieure ?

page 44

(Q/R) 59 Quels sont ses défauts ?

page 45

(Q/R) 60 Peut-on limiter ou supprimer ces inconvénients ?

page 45

(Q/R) 61 Comment obtient-on de l'eau à température variable en fonction de la température extérieure ?

page 46

(Q/R) 62 Y-a-t-il des dispositions particulières à prendre pour assurer un fonctionnement correct de ce dispositif ?

page 46

(Q/R) 63 Comment doit-on dimensionner la vanne mélangeuse ?

page 47

(Q/R) 64 Qu'est-ce qu'une régulation terminale par action sur le débit ?

page 47

(Q/R) 65 Pourquoi ne pas se contenter de telles régulations pour assurer le confort des occupants ?

page 48

(Q/R) 66 Comment fonctionne un robinet thermostatique ?

page 48

(Q/R) 67 Le fonctionnement du robinet thermostatique est-il affecté par un mauvais équilibre des circuits ?

page 49

(Q/R) 68 Comment dimensionne-t-on un robinet thermostatique ?

page 49

(Q/R) 69 Comment peut-on satisfaire simultanément les exigences en matière d'autorité hydraulique des organes d'équilibrage et des robinets thermostatiques puisque ces appareils se trouvent installés en série sur chaque branchement d'émetteur ?

page 50

(Q/R) 70 Que se passe-t-il lorsqu'un grand nombre de robinets thermostatiques se ferment simultanément comme cela peut être le cas pour tous les émetteurs d'une même façade ensoleillée ?

page 50

(Q/R) 71 Est-ce la raison pour laquelle beaucoup d'installations individuelles ou collectives sont équipées d'une soupape différentielle généralement

installée immédiatement en aval de la pompe de circulation ?

page 51

(Q/R) 72 Comment dimensionner une soupape différentielle (de type à ressort) ?

page 51

(Q/R) 73 Le réglage est-il aussi délicat que le dimensionnement ?

page 52

(Q/R) 74 Qu'est ce qu'une programmation ?

page 53

(Q/R) 75 La programmation par horloge permet-elle tout de même de réaliser des économies d'énergie ?

page 53

(Q/R) 76 Existe-t-il des programmeurs plus élaborés que les précédentes horloges ?

page 54

(Q/R) 77 En quoi le fonctionnement d'un programmeur (quel qu'il soit) dépend-il de l'équilibre thermohydraulique de l'installation ?

page 54

► Questions subsidiaires

page 55

► Le calcul des pertes de pression

(Q/R) 78 Comment calcule-t-on les pertes de pression dans les tuyauteries ?

page 57

(Q/R) 79 Peut-on préciser ce que l'on entend par pression dynamique ?

page 57

(Q/R) 80 Comment déterminer la vitesse de circulation ?

page 57

(Q/R) 81 La vitesse de circulation joue-t-elle un rôle essentiel dans le calcul des pertes de pression ?

page 58

(Q/R) 82 Peut-on aborder maintenant le calcul proprement dit des pertes de pression ?

page 58

(Q/R) 83 Et si nous faisons un peu de terminologie ?

page 58

(Q/R) 84 Comment calculer à présent les pertes de pression par frottements continus ?

page 59

(Q/R) 85 Qu'est ce que le nombre de Reynolds ?

page 59

(Q/R) 86 Qu'est ce que la rugosité relative d'un tube ?

page 60

(Q/R) 87 Dès lors que l'on connaît la rugosité et le nombre de Reynolds peut-on déterminer le coefficient de Darcy ?

page 60

(Q/R) 88 N'existe-t-il pas de méthode plus simple pour déterminer les pertes de pression par frottements continus ?

page 60

(Q/R) 89 Quel est alors l'intérêt de la procédure rigoureuse présentée ci avant ?

page 61

(Q/R) 90 Peut-on maintenant aborder le calcul des pertes de pression des différents circuits d'une installation ?

page 61

(Q/R) 91 Comment faire si l'un (ou plusieurs) des circuits dérivés comporte lui-même des circuits dérivés ?

page 62

(Q/R) 92 Si l'on a mal repéré le circuit défavorisé (ou principal) comment s'apercevoir de l'erreur et que faut-il faire ?

page 63

(Q/R) 93 Avec cette façon de calculer le réseau on est conduit à installer un organe d'équilibrage sur chacun des circuits dérivés, quel que soit son ordre. Comment faire si l'on souhaite n'installer des organes d'équilibrage qu'à l'entrée des émetteurs ?

page 63

(Q/R) 94 Ne peut-on pas trouver une méthode de calcul qui permette à coup sûr d'identifier le réseau défavorisé ?

page 63

(Q/R) 95 Les pressions motrices dues au thermosiphon ne perturbent-elles pas l'équilibre hydraulique des émetteurs ?

page 64

(Q/R) 96 N'y-a-t-il pas dans ces conditions un risque de sous-alimentation des émetteurs des

niveaux hauts en demi-saison, lorsque la température de l'eau est suffisamment faible pour réduire considérablement les pressions motrices additionnelles dues au thermosiphon ?

page 64

(Q/R) 97 Comment caractérise-t-on les pompes de circulation sur le plan hydraulique ?

page 65

(Q/R) 98 Que se passe-t-il si l'on a mal apprécié les caractéristiques hydrauliques du réseau ?

page 65

(Q/R) 99 Que se passe-t-il lorsque le réseau dessert des émetteurs équipés de robinets thermostatiques et que ces derniers se ferment progressivement ?

page 65

(Q/R) 100 Ne peut-on pas également diminuer la vitesse de rotation de la pompe pour maintenir la hauteur manométrique à une valeur constante ?

page 66

(Q/R) 101 Existe-il des critères pratiques pour choisir une pompe à caractéristique plate plutôt qu'une pompe à caractéristique plongeante ?

page 66

► **Questions subsidiaires** page 66

III/ ILLUSTRATIONS NUMÉRIQUES

Le numéro de chaque illustration numérique (ILL) est le même que celui des Q/R correspondant au thème étudié.

► Emission de chaleur

(ILL) 2 Le calcul des débit et température d'eau

page 71

(ILL) 3 Le calcul de la température de rayonnement

page 72

(ILL) 4 Le calcul de la température résultante sèche

page 74

(ILL) 6 L'équilibre thermohydraulique d'un émetteur

page 75

(ILL) 7 Calcul des paramètres dimensionnels d'un émetteur

page 78

(ILL) 8 Le surdimensionnement des émetteurs

page 79

(ILL) 9 et 10 Le calcul du débit d'équilibre thermique

page 80

(ILL) 11 Incidence de la température d'eau

page 83

(ILL) 12 Incidence des pertes calorifiques de la distribution

page 84

(ILL) 13 Incidence du débit d'eau

page 86

(ILL) 14 Incidence des apports calorifiques

page 87

(ILL) 15 Incidence de la température d'eau sur le taux de récupération

page 88

► L'équilibrage hydraulique

(ILL) 23 Equilibrage hydraulique d'un réseau de distribution bitube

page 89

(ILL) 25 Calcul de l'autorité hydraulique d'un organe de réglage

page 90

(ILL) 27 Incidence du déséquilibre hydraulique sur la consommation en énergie d'un bâtiment

page 91

(ILL) 29 Caractéristiques d'un organe d'équilibrage

page 92

(ILL) 29 Calcul des coefficients Kv et Z

page 93

(ILL) 30 Couplage en série ou en parallèle de plusieurs branches (ou éléments)

page 94

(ILL) 31 Incidence des erreurs de réglage et du surdimensionnement des organes d'équilibrage

page 95

(ILL) 32 Courbe caractéristique d'un organe de réglage du débit

page 96

(ILL) 34 Point de fonctionnement d'une installation

page 97

(ILL) 46 Le réglage référencé discret

page 98

(ILL) 49 Le réglage référencé continu

page 99

>| La régulation-programmation

(ILL) 53 La loi de régulation de la température d'eau en fonction de la température extérieure

page 100

(ILL) 54 La loi de régulation linéaire

page 102

(ILL) 55 Incidence de l'affichage d'une loi d'eau linéaire

page 103

(ILL) 61 La vanne de mélange à 3 voies

page 104

(ILL) 66 Courbe caractéristique d'un robinet thermostatique

page 105

(ILL) 72 Calcul des soupapes différentielles

page 106

(ILL) 75 Fonctionnement intermittent du chauffage

page 107

>| Le calcul des pertes de pression

(ILL) 79 Calcul de la pression dynamique

page 109

(ILL) 83 L'équilibre hydraulique des branches

page 110

(ILL) 85 Calcul du nombre de Reynolds

page 111

(ILL) 87 Calcul du coefficient de Darcy

page 112

(ILL) 88 Calcul approché des pertes de pression unitaires à l'aide de formules monômes

page 114

(ILL) 89 Calcul rigoureux des pertes de pression unitaires

page 115

(ILL) 90 Calcul des pertes de pression d'un réseau bitube

page 116

(ILL) 91 Exemple de réseau arborescent comportant des circuits dérivés d'ordre 1, 2 et 3

page 117

(ILL) 95 Calcul de la pression motrice additionnelle due au thermosiphon

page 118

(ILL) 100 Courbes caractéristiques d'une pompe à vitesse variable

page 119

III/ RÉPONSES AUX QUESTIONS SUBSIDIAIRES

>| Emission de chaleur

page 123

>| L'équilibrage hydraulique

page 124

>| La régulation-programmation

page 126

>| Le calcul des pertes de pression

page 127

IV/ ANNEXES

Unités et symboles utilisés

page 131

Quelques propriétés physiques de l'eau

page 135

Le coin des formules mathématiques

page 137

Glossaire

page 144

Bibliographie

page 151