1994 724.349 f

Production d'eau chaude à l'électricité

RAVEL

Office fédéral des questions conjoncturelles

Production d'eau chaude à l'électricité

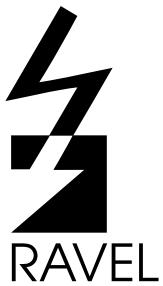
Les ménages logés dans des bâtiments isolés conformément aux normes actuellement en vigueur et équipés de chauffe-eau électriques consacrent approximativement un tiers à la moitié de leur consommation d'électricité à la préparation d'eau chaude. Les connaissances nouvelles acquises à travers de multiples analyses démontrent que le comportement de l'utilisateur n'est que partiellement responsable du montant de sa facture d'électricité. Une part importante de cette facture est déjà prédéterminée lors de l'étude et du dimensionnement de l'installation. Une équipe de spécialistes en installations techniques a systématiquement analysé le problème de l'alimentation en eau chaude sous l'angle des gaspillages d'énergie.

La présente documentation montre où et comment le planificateur et l'installateur peuvent exercer une influence sur la consommation d'électricité. Dans le contexte de la problématique « Amélioration du confort en eau chaude et réduction de la consommation électrique », elle répond notamment à des questions telles que celles-ci : pour quelle quantité d'eau faut-il concevoir les systèmes ? Quelles décisions prises par le maître d'ouvrage peuvent exercer une influence sur la consommation d'énergie ? Quels chauffe-eau conviennent le mieux pour un usage donné ? Où de petits chauffe-eau à accumulation décentralisés conviennent-ils ? Où des conduites de circulation se justifient-elles et comment peut-on les optimiser en termes énergétiques ? Quelle est la température correcte pour l'eau ? Quelles possibilités recèlent la commande et la régulation ? Quels points faut-il observer en utilisant des pompes à chaleur ? Comment une meilleure planification se traduit-elle sur les coûts ? Comment peut-on contrôler l'efficacité d'un système d'alimentation en eau chaude ? En l'occurrence, les données et recommandations tiennent compte des plus récentes analyses relatives au comportement des consommateurs, des derniers perfectionnements apportés aux installations de préparation d'eau chaude et de nombreuses expériences pratiques. Des exemples tirés de la pratique, des calculs de rentabilité, des éléments de planification, des chiffres caractéristiques de consommation, des recommandations ainsi que des directives font de cette documentation un instrument de travail indispensable pour l'accomplissement des tâches quotidiennes et un nouvel ouvrage standard pour le secteur des installations techniques.

ISBN 3-905233-55-X
Edition originale : ISBN 3-905233-13-14

1994, 165 pages
N° de commande 724.349 f

Production d'eau chaude à l'électricité



Programme d'impulsions RAVEL
Office fédéral des questions conjoncturelles

RAVEL

Associations organisatrices

ASMFA	Association suisse des maîtres ferblantiers et appareilleurs
INFEL	Centre d'information pour les applications de l'électricité
USTSC	Union suisse des professionnels de la technique sanitaire et chauffage

Associations de soutien

ASCV	Association suisse des entreprises de chauffage et de ventilation
ASMFA	Association suisse des maîtres ferblantiers et appareilleurs
INFEL	Centre d'information pour les applications de l'électricité
SBHI	Société suisse des ingénieurs conseils de la technique du bâtiment et de l'énergie
SFCV	Association suisse des maîtres professionnels des installations du bâtiment
SICC	Société suisse des ingénieurs en chauffage et climatisation
USTSC	Union suisse des professionnels de la technique sanitaire et chauffage
UTS	Union technique suisse

Auteurs et préparation du projet

Herbert Hediger, Zurich
Andreas Fahrni, Breitenbach
Edgar Graber, Hirschthal
Roland Lugeon, Burgdorf
Andreas Probst, Burgdorf
Paul Simmler, Zurich

Traduction et adaptation de la version française

Bernard Francoz, Morrens
Michel Hossmann, Montreux
Roland Lugeon, Burgdorf
Philippe Meister, Corseaux
Pierre Revelly, Lausanne

Mise en page et photocomposition

Consortium Dac/City Comp SA
Morges et Lausanne

ISBN 3-905233-55-X
Edition originale : ISBN 3-905233-13-14

Copyright © 1994 Office fédéral des questions conjoncturelles, 3003 Berne, mai 1994.
Reproduction d'extraits autorisée avec indication de la source.
Diffusion : Coordination romande du programme d'action «Construction et Energie», EPFL-LESO, Case postale 12, 1015 Lausanne (Numéro de commande 724.349 f)

Form 724.349 f 05.94 300

Avant-propos

D'une durée totale de 6 ans (1990-95), le programme d'action « Construction et Energie » se compose des trois programmes d'impulsions suivants :

- PI-BAT – Entretien et rénovation des constructions
- RAVEL – Utilisation rationnelle de l'électricité
- PACER – Energies renouvelables

Ces trois programmes d'impulsions sont réalisés en étroite collaboration avec l'économie privée, les écoles et la Confédération. Leur but est de favoriser une croissance économique qualitative. Dans ce sens ils doivent conduire à une plus faible utilisation des matières premières et de l'énergie, avec pour corollaire un plus large recours au savoir-faire et à la matière grise.

Le programme RAVEL cherche principalement à améliorer la compétence des professionnels à utiliser l'énergie électrique à bon escient. Outre les aspects de la sécurité et de la production, qui étaient prioritaires jusqu'ici, il est aujourd'hui indispensable de s'intéresser davantage aux rendements. RAVEL a établi une matrice de consommation qui définit dans leurs grandes lignes les thèmes à traiter. Les procédés utilisés dans l'industrie, le commerce et le secteur tertiaire sont à considérer parallèlement aux utilisations de l'électricité dans les bâtiments. Dans ce contexte, les groupes-cibles concernés sont les spécialistes de tous les niveaux de formation et les décideurs qui doivent gérer les investissements en matière d'équipements et de procédés.

Cours, manifestations, publications, vidéos, etc.

Les objectifs de RAVEL sont poursuivis par des projets de recherche et de diffusion des connaissances de base, par des cycles de formation et de perfectionnement, ainsi que par l'information. Le transfert des nouvelles connaissances est orienté vers une mise en pratique dans le travail quotidien. Il repose principalement sur des publications, des cours et des réunions. Une journée d'information annuelle RAVEL permet de présenter et de discuter des nouveaux résultats, développements et tendances de cette discipline fascinante qu'est l'utilisation rationnelle de l'électricité. Les personnes intéressées trouveront dans le bulletin « Construction et Energie » de plus amples informations sur le vaste éventail des possibilités en matière de formation continue offertes aux groupes-cibles. Ce bulletin paraît trois fois l'an et peut être obtenu gratuitement en s'adressant à la Coordination romande du programme d'action « Construction et Energie », EPFL-LESO, Case postale 12, 1015 Lausanne. En outre, chaque participant à un cours, ou autre manifestation du programme, reçoit une publication spécialement élaborée à cet effet. Toutes ces publications peuvent également être obtenues en s'adressant directement à la Coordination romande du programme d'action « Construction et Energie », EPFL-LESO, Case postale 12, 1015 Lausanne.

Compétences

Afin de maîtriser cet ambitieux programme de formation, il a été fait appel à des spécialistes des divers domaines concernés ; ceux-ci appartiennent au secteur privé, aux écoles, ou aux associations professionnelles. Ces spécialistes sont épaulés par une commission qui comprend également des représentants des associations, des écoles et des branches professionnelles concernées.

Ce sont les associations professionnelles qui prennent en charge l'organisation des cours et des autres activités proposées. Pour la préparation de ces activités, une direction de projet a été mise en place ; elle se compose du Dr Roland Walthert, de M. Werner Böhi, du Dr Eric Bush, de MM. Jean-Marc Chuard, Hans-Ruedi Gabathuler, Jürg Nipkow, Ruedi Spalinger, du Dr Daniel Spreng, de M. Felix Walter, du Dr Charles Weinmann et de M. Eric Mosimann de l'OFQC. Une très large part des activités est confiée à des groupes de travail qui sont responsables du contenu, de même que du maintien des coûts et des délais.

Documentation

La présente documentation montre comment utiliser rationnellement l'électricité dans le domaine de la préparation d'eau chaude.

Comme le chauffe-eau électrique ne peut pas faire l'objet d'une étude isolée, nous l'examinerons ici

dans le contexte d'une installation d'eau chaude. Globalement, nous allons voir que, parallèlement à une réduction de la consommation d'électricité, il convient également d'accorder une grande importance à un comportement pratique optimal de l'installation. Heureusement, ces deux exigences ne s'excluent pas l'une l'autre; au contraire, elles s'interactivent.

Ce document a fait l'objet d'une procédure de consultation ; il a également été soumis à l'appréciation des participants lors d'un cours pilote, ce qui a permis aux auteurs d'effectuer les corrections nécessaires. Ceux-ci ont toutefois gardé leur liberté d'appréciation pour les questions où les avis divergeaient. Ils assument donc aussi la responsabilité de leurs textes. Des améliorations sont encore possibles et des suggestions éventuelles peuvent être adressées soit à l'Office fédéral pour les questions conjoncturelles, soit au directeur de projet responsable (voir page 2).

Office fédéral des questions conjoncturelles
Service de la technologie

Dr B. Hotz-Hart
Vice-directeur

Table des matières

Introduction 7

1. Enoncé du problème et objectif 9
1.1 Part de la production d'eau chaude à consommation d'électricité 11
1.2 Utilisation rationnelle de l'électricité pour la production d'eau chaude 11

2. Appareils de préparation d'eau chaude 13
2.1 Types de chauffe-eau 15
2.2 Chauffe-eau électriques 15
2.3 Chauffe-eau à pompe à chaleur 19
2.4 Comportement pratique 26
2.5 Commande et régulation 30
2.6 Remarques techniques 34
2.7 Sélection du système 48

3. Systèmes de distribution d'eau chaude 51
3.1 Exigences générales requises 53
3.2 Descriptif des systèmes 53
3.3 Mesures 59
3.4 Sélection du système 61
3.5 Pertes énergétiques 62

4. Soutirage de l'eau chaude/consommation 67
4.1 Confort 69
4.2 Robinetterie 70

5. Calcul d'installations d'eau chaude 73
5.1 Chauffe-eau 75
5.2 Conduites 79

6. Post-traitement de l'eau 85
6.1 Généralités 87
6.2 Procédés de post-traitement de l'eau 90

7. Hygiène 93
7.1 Ordonnance sur le commerce des denrées alimentaires 95
7.2 Légionelles 96

8. Exploitation et entretien 99
8.1 Appareil 101
8.2 Conduites de distribution 102
8.3 Robinetterie 102

9. Assainissement d'installations existantes 103
9.1 Généralités 105
9.2 Possibilités d'économie 105

10. Rentabilité 109
10.1 Introduction 111
10.2 Questions possibles 111
10.3 Démarche en matière de calcul de rentabilité 112
10.4 Calcul de rentabilité 116

11. Exemples 119
11.1 Généralités 121
11.2 Pompe à chaleur dans villa familiale 121
11.3 Production d'eau chaude bivalente par chauffe-eau en armoire 122
11.4 Calcul-type des économies réalisées par coupure de la circulation 125
11.5 Comparaison des besoins énergétiques 127
11.6 Comparaison entre ruban chauffant et circulation 128

12. Annexes 129
12.1 Aides à la planification 131
12.2 Prescriptions, recommandations, normes, directives 159
12.3 Bibliographie 160

Publications du programme d'impulsions RAVEL 161

Introduction

Exigences requises pour les installations de production et de distribution d'eau chaude

Il convient d'accorder une attention accrue au problème de l'énergie et de la protection de l'environnement.

En conséquence, nous serons amenés à découvrir de nombreuses installations d'eau chaude peu économiques ou défectueuses nécessitant un assainissement conforme aux exigences actuelles. Sur la base des connaissances actuelles et de la législation en matière d'énergie, les nouvelles installations doivent être conçues et calculées correctement. Il convient de prêter une attention particulière à l'énergie électrique, notamment comme énergie complémentaire à d'autres types d'énergie dans des installations de production d'eau chaude. Au stade de l'étude déjà, on créera les conditions préalables indispensables à la réalisation d'une installation optimale.

La production d'eau chaude n'est pas seulement une composante importante de l'équipement technique d'un bâtiment, mais elle correspond généralement aussi à une part considérable de la consommation totale d'énergie. Quand bien même la consommation d'énergie dépend principalement du comportement des utilisateurs, une sélection judicieuse des appareils et du système ainsi qu'une maintenance et un entretien appropriés peuvent grandement contribuer à une meilleure utilisation de l'énergie.

Le comportement des utilisateurs peut être influencé par une information adéquate. Les points de soutirage d'eau chaude et le système seront déterminés en fonction des besoins effectifs de l'utilisateur.

La disposition concentrée des points de soutirage nécessaires autour du chauffe-eau ou de l'accumulateur est la condition première dans l'optique de rentabilité d'une installation d'eau chaude.

L'eau chaude produite par les chauffe-eau doit satisfaire à différentes exigences d'hygiène et de confort. La production d'eau chaude doit être efficace ; elle doit s'effectuer en économisant l'énergie, en ménageant l'environnement et en respectant toutes les prescriptions de sécurité.

La sélection correcte du matériel avec, entre autre, des appareils permettant une exploitation et une maintenance simples, sera garante de la longévité de l'installation.

L'utilisation rationnelle de l'énergie dans le cadre de la production d'eau chaude sera analysée très tôt, car elle a une influence considérable sur le système d'eau chaude.

Si des décisions doivent intervenir quant au choix des types d'énergie pour le chauffage de l'eau potable, des chauffe-eau et des systèmes de distribution, toutes les considérations et réflexions comparatives se baseront sur les critères suivants :

- rentabilité ;
- sécurité d'exploitation ;
- praticabilité ;
- disponibilité ;
- écologie.

Différentes sources d'énergie sont disponibles pour un chauffage direct ou indirect de l'eau.

Les sources d'énergie conventionnelles sont les suivantes : mazout, (charbon), bois, électricité, gaz naturel, gaz liquéfié.

Les sources d'énergie alternatives sont les suivantes : rayonnement solaire, chaleur terrestre, eau, air ambiant, eaux usées, chaleur perdue (air évacué, chaleur dégagée par des processus), biogaz, vent.

Bases de planification

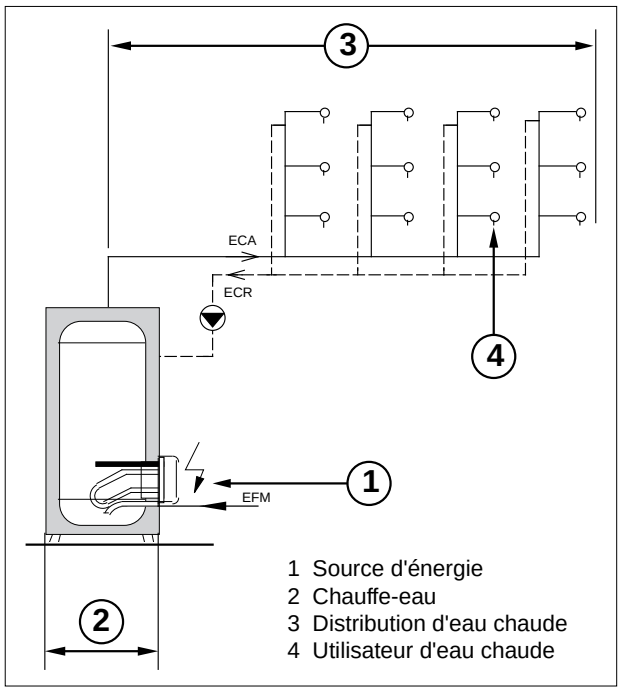
De nombreux facteurs influencent chaque fois l'endroit, le moment et la quantité d'eau chaude consommée. Les mesures et analyses effectuées dans le secteur privé font toujours ressortir que les habitudes individuelles de vie et de consommation varient beaucoup. Les valeurs spécifiques de consommation d'eau chaude varient donc aussi beaucoup entre elles.

Aux points de soutirage, on ne dépassera en principe pas les températures suivantes :

- Lavabos, douches, baignoires 45° C
- Cuisine sans lave-vaisselle 55° C
- Cuisine avec lave-vaisselle 50° C

Conformément aux températures de soutirage ainsi que pour éviter des phénomènes de corrosion et d'entartrage dans l'installation d'eau chaude, on veillera à ne pas dépasser une température de 60° C dans le chauffe-eau ou l'accumulateur.

L'installation d'approvisionnement en eau chaude comporte les éléments principaux suivants:



Pour la distribution de l'eau chaude, différentes solutions suivant les besoins peuvent entrer en ligne de compte:

Distributions individuelles
pour une seule prise par unité ou pour une prise très éloignée

Distributions groupées
pour des prises rapprochées par appartement ou villa familiale

Distribution centrale
pour grands bâtiments (hôtels, restaurants, blocs locatifs, immeubles administratifs, bâtiments avec chaleur perdue récupérable, etc.)

Conclusion

Etant donné la situation actuelle en matière d'énergie et de protection de l'environnement, il est nécessaire de planifier et de réaliser des installations techniques ingénieuses et économiques. Cette remarque s'applique tout spécialement aux installations d'eau chaude, l'exploitation de celles-ci pouvant s'optimiser sur la base d'un contrôle de la consommation d'énergie et des frais de maintenance.

Tous les composants d'une installation de production d'eau chaude doivent être optimisés en vue de parvenir à un bon fonctionnement de l'ensemble. En l'occurrence, l'énergie électrique mérite une attention particulière, tant comme énergie de chauffage que comme énergie auxiliaire (circulateur ou ruban chauffant).

Outre les exigences de confort prescrites, le genre et l'importance de l'installation de production d'eau chaude sont soumis à des facteurs influencés par le maître d'œuvre, le bureau technique et les entreprises concernées.

Les critères suivants constituent des paramètres d'étude favorables en vue d'un approvisionnement en eau chaude économe en énergie:

- Eviter des prises d'eau rarement utilisées.
- Disposition concentrée des locaux sanitaires, respectivement des prises d'eau.
- Utiliser une robinetterie économe en eau ou limiter les débits aux prises d'eau.
- Placer si possible le chauffe-eau près des prises d'eau.
- Réserver l'espace indispensable à une isolation thermique suffisante des conduites.
- Appliquer un décompte individuel de consommation.
- Ne pas dépasser une température maximale de l'eau de 60° C.
- Application du principe de la pompe à chaleur pour la production d'eau chaude et la couverture des pertes thermiques d'un système de circulation donné.
- Eviter une mauvaise circulation de chauffe-eau à exploitation bivalente.
- Conduites et volume de l'accumulateur correctement dimensionnés.
- Régulation horaire de la température de l'eau chaude.
- Simplicité de l'exploitation et de l'entretien de l'installation d'eau chaude.

1. Enoncé du problème et objectif

1.1 Part de la production d'eau chaude à la consommation d'électricité 11

1.2 Utilisation rationnelle de l'électricité pour la production d'eau chaude 11

1. Enoncé du problème et objectif

1.1 Part de la production d'eau chaude à la consommation d'électricité

Grâce à une meilleure isolation thermique, la consommation moyenne d'énergie de chauffage dans les immeubles a constamment diminué au cours de ces dernières années, alors que la consommation d'eau chaude est restée pratiquement identique.

Exprimée en %, la consommation d'énergie pour la production d'eau chaude représente donc une part toujours plus élevée de la consommation totale d'énergie d'un immeuble. Il est donc important de rechercher les possibilités d'économie d'énergie également dans le domaine de la production d'eau chaude.

Dans près de 40 % des ménages suisses, on utilise l'électricité comme vecteur énergétique pour produire de l'eau chaude. La part des chauffe-eau sur la consommation totale suisse d'électricité se monte donc à environ 5 %.

Pour les usines électriques, les chauffe-eau électriques représentent une composante importante. En règle générale, les installations sont conçues comme des chauffe-eau à accumulation et peuvent être chargées pendant les heures de faible consommation. Les chauffe-eau électriques à accumulation permettent ainsi une meilleure utilisation du réseau électrique.

1.2 Utilisation rationnelle de l'électricité pour la production d'eau chaude

Par utilisation rationnelle de l'électricité, on entend les principes suivants :

- utilisation intelligente de l'électricité ;
- éviter des puissances utiles exagérées ;
- amélioration systématique du rendement.

Pour un chauffe-eau électrique, cela signifie par exemple :

Utilisation intelligente de l'électricité :
Chauffage de l'eau par une pompe à chaleur ou des installations bivalentes (électricité en été, combustibles fossiles en hiver)

Eviter des puissances utiles exagérées :
Pas de surdimensionnement du volume de l'accumulateur, circulateur piloté, sélection correcte de la robinetterie, etc.

Amélioration systématique du rendement :
Planification et dimensionnement corrects des conduites, sélection correcte des appareils, des températures d'eau chaude, etc.

Pour la production d'eau chaude, le précieux vecteur énergétique qu'est l'électricité doit être utilisé aussi rationnellement que possible. Nous vous en présentons les moyens dans cette documentation.

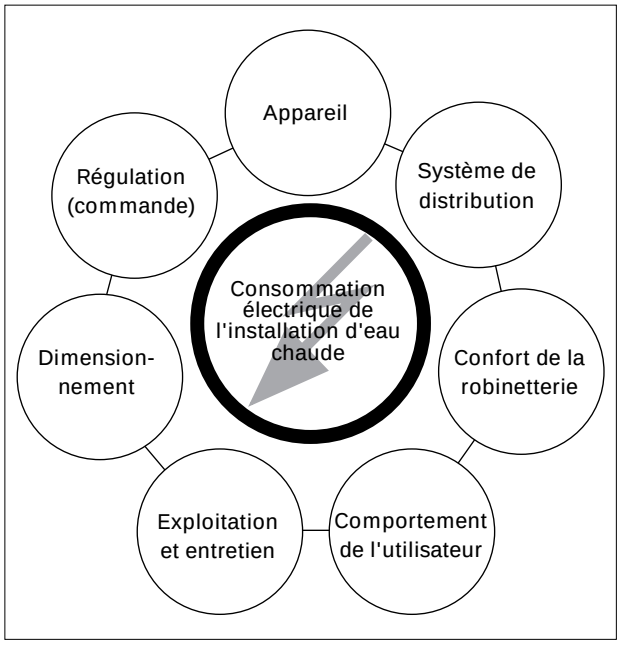


Figure 1.2.1 : Facteurs d'influence.

2. Appareils de préparation d'eau chaude

2.1	Types de chauffe-eau	15
2.2	Chauffe-eau électriques	15
2.2.1	Chauffe-eau instantanés	15
2.2.2	Chauffe-eau 100% électriques à accumulation	15
2.2.3	«Petits» chauffe-eau à accumulation	15
2.2.4	Chauffe-eau à accumulation avec échangeur de chaleur intégré	16
2.2.5	Chauffe-eau à accumulation avec échangeur de chaleur extérieur	16
2.2.6	Chauffe-eau à accumulation MAGRO	17
2.2.7	Chauffe-eau pour garages	18
2.2.8	Chauffe-eau automatiques (à double corps de chauffe) de 50 à 1000 litres	18
2.2.9	Accumulateurs d'eau chaude	19
2.3	Chauffe-eau à pompe à chaleur	19
2.3.1	Conception, fonctionnement	19
2.3.2	Types de chauffe-eau à pompe à chaleur	20
2.3.3	Détermination du volume de l'accumulateur	24
2.3.4	Emplacement de la pompe à chaleur	24
2.3.5	Source de chaleur	25
2.3.6	Coefficient de performance	25
2.4	Comportement pratique	26
2.4.1	Critères	26
2.4.2	Charge	26
2.4.3	Décharge	27
2.4.4	Stratification	28
2.4.5	Températures d'exploitation	29
2.4.6	Composition de l'eau	29
2.5	Commande et régulation	30
2.5.1	Chauffe-eau	30
2.5.2	Boucle de circulation	31
2.5.3	Désinfection thermique	32
2.5.4	Pompe à chaleur pour couverture des pertes thermiques de circulation	32
2.6	Remarques techniques	34
2.6.1	Construction des chauffe-eau à accumulation	34
2.6.2	Matériau et protection contre la corrosion de la cuve intérieur	42
2.6.3	Protection cathodique et galvanique contre la corrosion	42
2.6.4	Manteau extérieur – systèmes de carrossage	43
2.6.5	Isolation thermique	43
2.6.6	Pertes énergétiques des chauffe-eau/accumulateurs	43
2.6.7	Corps de chauffe pour chauffe-eau	45
2.6.8	Régulation de la température	47
2.6.9	Problèmes de corrosion sur les corps de chauffe	47
2.7	Sélection du système	48
2.7.1	Critères de sélection	48
2.7.2	Sources d'énergie thermique	48
2.7.3	Disponibilité	48
2.7.4	Coûts des sources d'énergie thermique	49
2.7.5	Vecteurs d'énergie thermique	49

2. Appareils de préparation d'eau chaude

2.1 Types de chauffe-eau

La terminologie relative aux chauffe-eau et à la production d'eau chaude dans l'alimentation des immeubles en eau chaude potable figure dans la norme SIA 385/3.

Définition des chauffe-eau selon la SIA :

Chauffe-eau :
Appareils dans lesquels de l'eau froide est chauffée directement et/ou indirectement par apport de chaleur, et cela jusqu'au-dessous du point d'ébullition de l'eau à la pression atmosphérique

Chauffe-eau instantanés :
Chauffe-eau dans lesquels l'eau froide est chauffée au fur et à mesure du soutirage, c'est-à-dire en continu lors de son passage.

Chauffe-eau à accumulation :
Réservoir avec surfaces chauffantes incorporées, dans lesquels l'eau froide est chauffée, puis accumulée (dénommé aussi boiler).

Chauffe-eau à grand rendement :
Réservoir avec surfaces chauffantes incorporées, dans lesquels l'eau froide est chauffée au passage et dont une faible partie seulement est accumulée.

Accumulateurs d'eau chaude :
Réservoirs dépourvus de corps de chauffe et prévus uniquement pour accumuler de l'eau chaude. L'eau chaude est acheminée au travers d'un système de chauffage, l'eau étant chauffée par un chauffe-eau extérieur à l'accumulateur.

2.2 Chauffe-eau électriques

2.2.1 Chauffe-eau instantanés

Les chauffe-eau instantanés électriques sont des appareils compacts avec élément chauffant. Ils sont prévus pour un poste d'eau ; leur puissance électrique est relativement élevée.

Le chauffe-eau instantané est en règle générale conçu pour des systèmes à circuit hydraulique fermé (c'est-à-dire résistant à la pression). Il existe cependant aussi des appareils pour raccordement sur un circuit ouvert sans pression.

Le chauffe-eau instantané doit disposer d'une puissance calorifique élevée afin de pouvoir chauffer l'eau en continu pendant que celle-ci traverse l'appareil.

Ces puissances calorifiques élevées représentent des puissances de raccordement importantes, à savoir par exemple 18 kW pour environ 9 l/min, 21 kW pour environ 10,5 l/min ou même 24 kW pour environ 12 l/min.

Etant donné les importantes puissances électriques de raccordement, ces appareils ne peuvent pas se raccorder sans autre formalité sur les réseaux suisses.

2.2.2 Chauffe-eau 100 % électriques à accumulation

Les chauffe-eau électriques à accumulation sont disponibles en modèles muraux, indépendants ou encastrables ainsi que dans d'autres formes et exécutions spéciales.

Leur capacité d'accumulation couvre généralement les besoins moyens quotidiens. Le chauffage a lieu au tarif de nuit.

2.2.3 « Petits » chauffe-eau à accumulation

Les « petits » chauffe-eau à accumulation en version à corps caché ou apparent sont livrables dans des contenances d'environ 5 à 30 litres.

Les « petits » chauffe-eau à accumulation sont disponibles pour circuit ouvert ou fermé et conviennent pour un ou deux postes d'eau.

Pour la version à écoulement libre, on utilisera une robinetterie appropriée.

2.2.4 Chauffe-eau à accumulation avec échangeur de chaleur intégré

Le chauffe-eau électrique à accumulation avec échangeur de chaleur intégré offre la possibilité supplémentaire de préparer de l'eau chaude en utilisant du gaz, du mazout, des combustibles solides (bois, charbon, coke), via une unité de production de chaleur telle qu'une chaudière, de l'énergie solaire et une pompe à chaleur.

L'apport de chaleur s'effectue indirectement à travers l'échangeur de chaleur via un fluide caloporteur tel que l'eau de chauffage, la vapeur, etc. Les serpentins de chauffage incorporés faisant office d'échangeur de chaleur sont en acier inoxydable ou en tube d'acier émaillé ; l'échangeur peut également consister en un faisceau de tubes lisses ou à ailettes.

Les serpentins de chauffage en acier inoxydable et en tube d'acier émaillé sont des éléments fixes du chauffe-eau. Les échangeurs à faisceau sont fixés sur une flasque elle-même intégrée au chauffe-eau ou montée sur celui-ci.

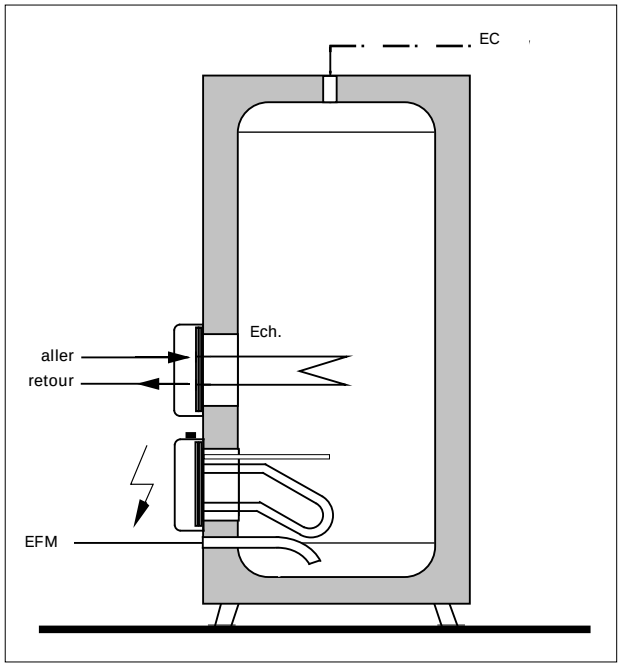


Figure 2.2.4.1 : Chauffe-eau pour exploitation bivalente.

L'eau est chauffée par la chaudière en hiver et électriquement en été.

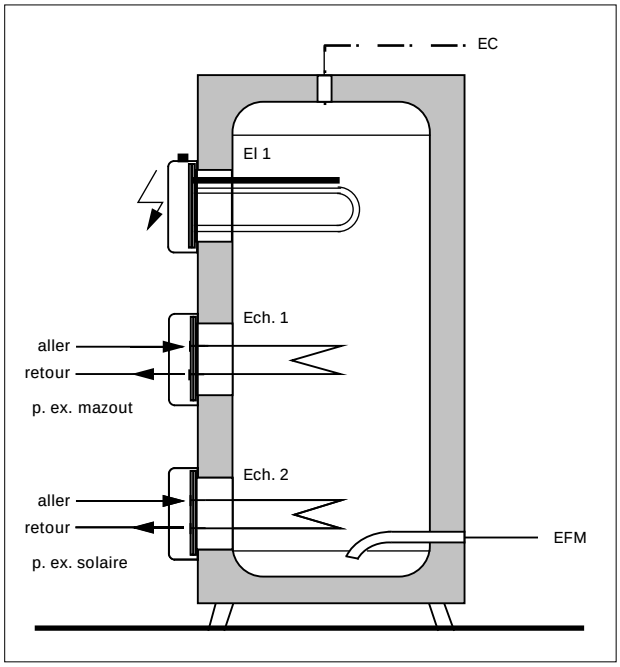


Figure 2.2.4.2 : Chauffe-eau pour exploitation polyvalente.

En utilisant plusieurs échangeurs de chaleur pour chauffer l'eau avec des capteurs solaires ou / et des pompes à chaleur ou / et une unité de production de chaleur (chaudière) ou / et un raccordement de chauffage à distance ou un élément chauffant électrique, il est possible de garantir une utilisation polyvalente optimale de l'énergie. Le chauffage électrique entre en action uniquement en cas de niveau de température insuffisant en mode d'exploitation solaire ou par pompe à chaleur.

2.2.5 Chauffe-eau à accumulation avec échangeur de chaleur extérieur

a) Variantes pour une exploitation bivalente :

– Source énergétique fossile (chauffage).
– Electricité.

En combinaison avec une chaudière à mazout, à gaz ou à bois, la production d'eau chaude peut s'effectuer via le chauffage pendant la période de chauffage. Hors période de chauffage, des éléments chauffants électriques assurent la production d'eau chaude.

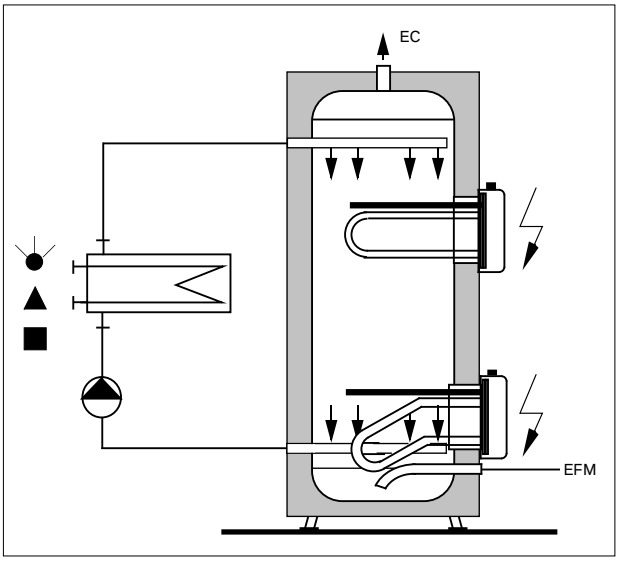


Figure 2.2.5.1: Exploitation bivalente avec différentes énergies par échangeur de chaleur externe.

– Couverture des demandes de pointe en eau chaude par l'élément chauffant électrique supérieur.
– Fonction de chauffe-eau électrique automatique (deux éléments chauffants).
– Fonction de chauffe-eau conventionnel (élément chauffant inférieur).

Ces systèmes conviennent pour l'alimentation centrale en eau chaude de villas familiales et maisons plurifamiliales.

b) Variantes pour une exploitation bivalente avec énergie alternative:

Préchauffage par des systèmes à pompe à chaleur, à l'énergie solaire ou de récupération de chaleur:

– Energie alternative (pompe à chaleur/énergie solaire/récupération de chaleur).
– Electricité.
– Chauffage d'appoint par élément chauffant électrique inférieur et/ou supérieur.
– Couverture des demandes de pointe en eau chaude par l'élément chauffant électrique supérieur.
– Fonction de chauffe-eau électrique automatique (deux éléments chauffants).
– Fonction de chauffe-eau conventionnel (élément chauffant inférieur).

Ces systèmes conviennent pour l'alimentation centrale en eau chaude de villas familiales et maisons plurifamiliales.

2.2.6 Chauffe-eau à accumulation MAGRO

L'exécution MAGRO (charge) signifie que l'accumulateur est chargé de haut en bas et que de l'eau chaude est toujours immédiatement disponible.

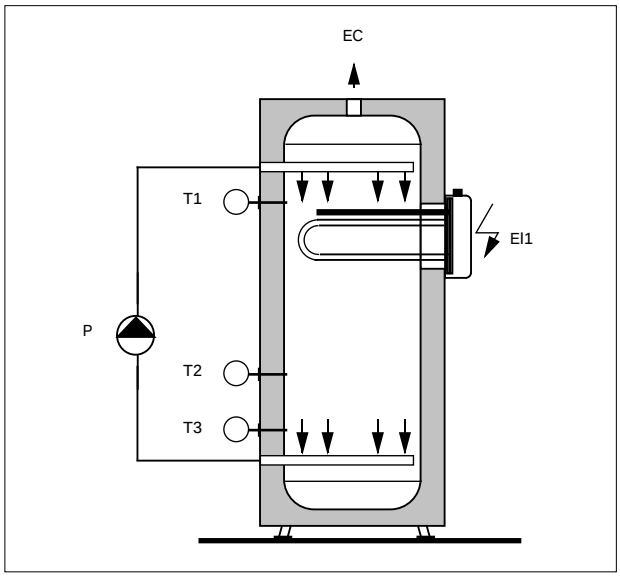


Figure 2.2.6.1: Exécution MAGRO classique (système MAGRO électrique).

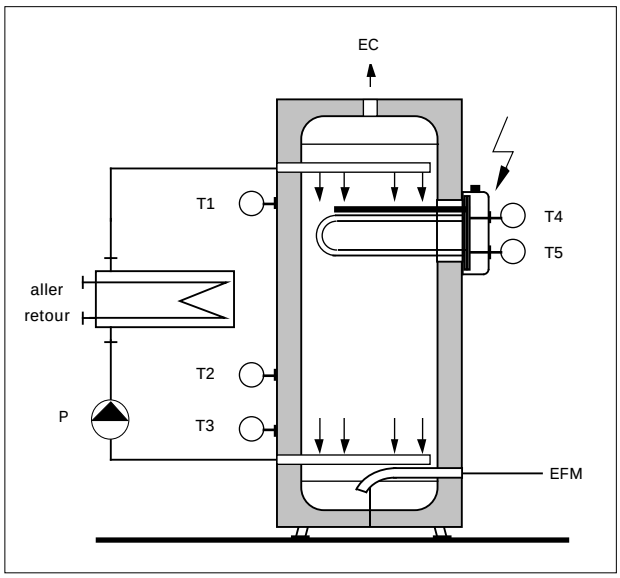


Figure 2.2.6.2: Système MAGRO avec échangeur de chaleur extérieur et éléments chauffants électriques intégrés à l'accumulateur.

2.2.7 Chauffe-eau pour garages de 300 à 500 litres

Selon les cantons, certains garages avec une ventilation insuffisante sont classés en zone «explosive» par les organes de la police du feu (Etablissement cantonal d'assurance incendie ou police du feu). Dans ce cas, l'atmosphère jusqu'à 1 m au-dessus du sol est classée en zone 2.

Conformément à l'article 6 de l'OMBT (Ordonnance du 24 juin 1987 sur les matériels électriques à basse tension) et l'alinéa 4 de l'Ordonnance du 14 novembre 1989 sur les matériels électriques soumis au régime de l'approbation, les moyens d'exploitation électriques situés dans les secteurs avec risque d'explosion (zone 2, 1 et 0) sont soumis au régime de l'approbation.

Les chauffe-eau installés dans un garage classé en zone 2 doivent par conséquent être positionnés de manière à ce que les organes électriques, thermostat et corps de chauffe (même du type blindé) soient placés à plus de 1 m au-dessus du sol, ou disposer de l'homologation (Ex) confirmée par la plaquette signalétique de l'appareil. Dans ce dernier cas, on veillera à respecter les directives d'installation (ASE 1000-1.1985, ASE 1000-2.1985, paragraphe 4817: installations se trouvant dans des secteurs soumis à des risques d'explosion).

La production d'eau chaude est centralisée et la distribution peut s'effectuer individuellement ou collectivement.

2.2.8 Chauffe-eau automatiques (accumulateurs à double corps de chauffe) de 50 à 1000 litres

Les chauffe-eau automatiques sont disponibles comme chauffe-eau à accumulation muraux, indépendants ou encastrables.

Les différentes exécutions correspondent chaque fois au modèle de base et comportent en outre un élément chauffant électrique dans leur partie supérieure. L'élément chauffant électrique inférieur assure la charge nocturne à bas tarif, alors que l'élément chauffant électrique supérieur couvre les demandes de pointe en eau chaude pendant la journée. L'enclenchement simultané des deux éléments chauffants (élément inférieur + élément supérieur) n'est pas autorisé en raison de la puissance cumulée.

Descriptif de fonctionnement d'un chauffe-eau automatique

Moyennant des organes de commande appropriés, l'utilisation du chauffe-eau se prête à certaines économies d'énergie.

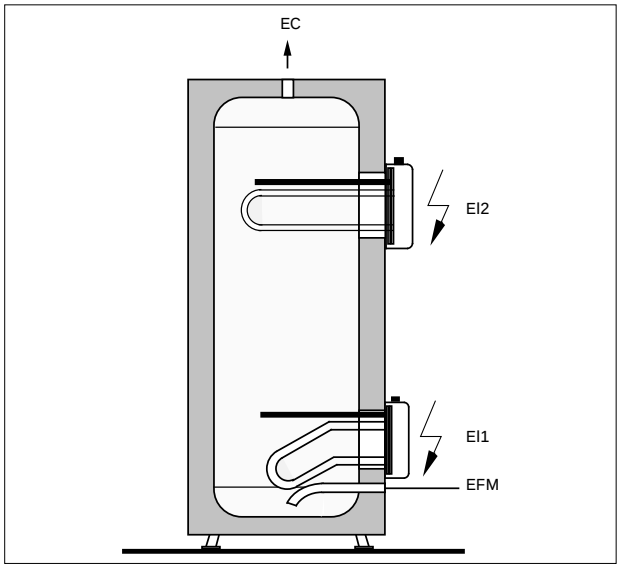


Figure 2.2.8.1: Tout le contenu est chauffé par l'élément chauffant électrique inférieur de nuit et à bas tarif – comme pour un chauffe-eau conventionnel.

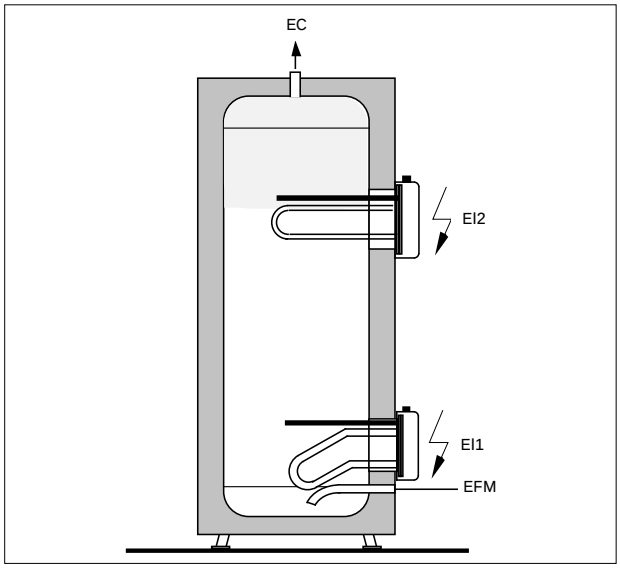


Figure 2.2.8.2: Par enclenchement de l'élément chauffant électrique supérieur, un tiers seulement du contenu est chauffé (par exemple pendant les vacances); on réalise ainsi une économie sur les pertes de chaleur.

2.2.9 Accumulateurs d'eau chaude

Réservoir sans corps de chauffe incorporés et destiné à l'accumulation d'eau chaude. L'eau chaude est amenée par un système de charge à partir d'un chauffe-eau se trouvant à l'extérieur de l'accumulateur. L'accumulateur à eau chaude s'utilise pour chauffer indirectement de l'eau. Si les besoins en eau chaude sont importants et que celle-ci est produite par des chauffe-eau à grand rendement ou des chauffe-eau instantanés, on utilisera des accumulateurs qui feront office d'éléments-tampons. Compte tenu des contraintes architecturales (portes, etc.), il est souvent nécessaire de fractionner le volume requis en plusieurs petits accumulateurs.

2.3 Chauffe-eau à pompe à chaleur

2.3.1 Conception, fonctionnement

Le chauffe-eau à pompe à chaleur est un chauffe-eau indépendant combiné avec une pompe à chaleur air-eau ou eau-eau. En fonction de son exécution, la pompe tire la chaleur nécessaire au chauffage de l'eau, de l'air ambiant ou de l'air extérieur.

Le transfert de la chaleur de la pompe au chauffe-eau peut s'effectuer selon différents systèmes. La solution la plus courante est constituée par des installations compactes dans lesquelles l'évaporateur, le compresseur et le ventilateur sont superposés. Dans des cas particuliers, notamment lorsque la source de chaleur et le chauffe-eau ne peuvent pas se trouver au même endroit, on utilise des systèmes split, ce qui signifie que l'évaporateur, le compresseur, le ventilateur et parfois aussi le condenseur sont installés séparément.

Avec la plupart des appareils, l'eau peut en outre être chauffée (préchauffage ou chauffage d'appoint) moyennant une garniture électrique. Avec des appareils équipés d'un échangeur de chaleur incorporé (serpentin), il est également possible d'utiliser du mazout, du gaz, des combustibles solides ou de l'énergie solaire. A l'aide de la pompe à chaleur, il est possible de soutirer la chaleur de l'air ambiant avec des températures ambiantes comprises entre -10° C et 32° C. Avec l'énergie électrique d'appoint, cette chaleur est utilisée pour porter l'eau du chauffe-eau à des températures de l'ordre de 55-60° C. En l'occurrence, l'air ambiant se refroidit, mais il retrouve normalement assez vite sa capacité thermique grâce à la chaleur environnante ou la chaleur perdue.

Avec cette extraction thermique de l'air ambiant, l'apport de chaleur à l'eau peut représenter un multiple de l'énergie motrice utilisée par la pompe, à savoir par exemple jusqu'à 3 kilowattheures de chaleur pour 1 kWh d'électricité. Ce rapport correspond au coefficient de performance (COP).

Les chauffe-eau à pompe à chaleur utilisent des compresseurs identiques à ceux fabriqués en grande série pour équiper les réfrigérateurs et les

congélateurs. Ils ont une puissance électrique raccordée comprise entre 300 et 1000 W, et autorisent des puissances calorifiques comprises entre 1000 et 3000 W en fonction des circonstances.

Afin de pouvoir satisfaire par sa puissance aux débits de pointe (par exemple remplissage d'une baignoire), le chauffe-eau à pompe à chaleur doit être combiné avec un accumulateur d'eau chaude d'une capacité minimale de 200 litres. Les appareils proposés sur le marché conviennent parfaitement avec des volumes de 250 – 300 litres (exécutions spéciales de 400 – 1000 litres).

Pour le raccordement électrique d'un chauffe-eau à pompe à chaleur, on peut normalement se contenter d'une prise de 10 A. Le raccordement d'eau chaude et d'eau froide est identique à celui d'un chauffe-eau électrique. Il faut en outre prévoir sur le lieu d'installation du chauffe-eau un écoulement pour évacuer la condensation provenant de l'humidité de l'air.

2.3.2 Types de chauffe-eau à pompe à chaleur

Différents types de chauffe-eau peuvent entrer en ligne de compte en fonction du domaine d'application. On distingue les appareils compacts et les appareils split. Une autre distinction au sein des deux groupes s'opère en fonction du mode de transfert de la chaleur entre la pompe et la cuve de l'accumulateur. On distingue en outre selon le type et la disposition des échangeurs de chaleur et des composants du circuit du frigorifique. Quelques appareils sont par ailleurs équipés d'une résistance électrique pour assurer un chauffage d'appoint de l'eau et la porter par exemple à 55 – 60° C.

Une exécution intéressante est un appareil compact avec échangeur de chaleur incorporé (serpentin) pour utilisation de mazout, gaz, combustibles solides, énergie solaire, etc.

Avec des chauffe-eau à pompe à chaleur, on prêtera une attention particulière à l'extraction de la chaleur afin d'éviter un sous-refroidissement et provoquer un « pillage de chaleur ».

Types de chauffe-eau à pompe à chaleur

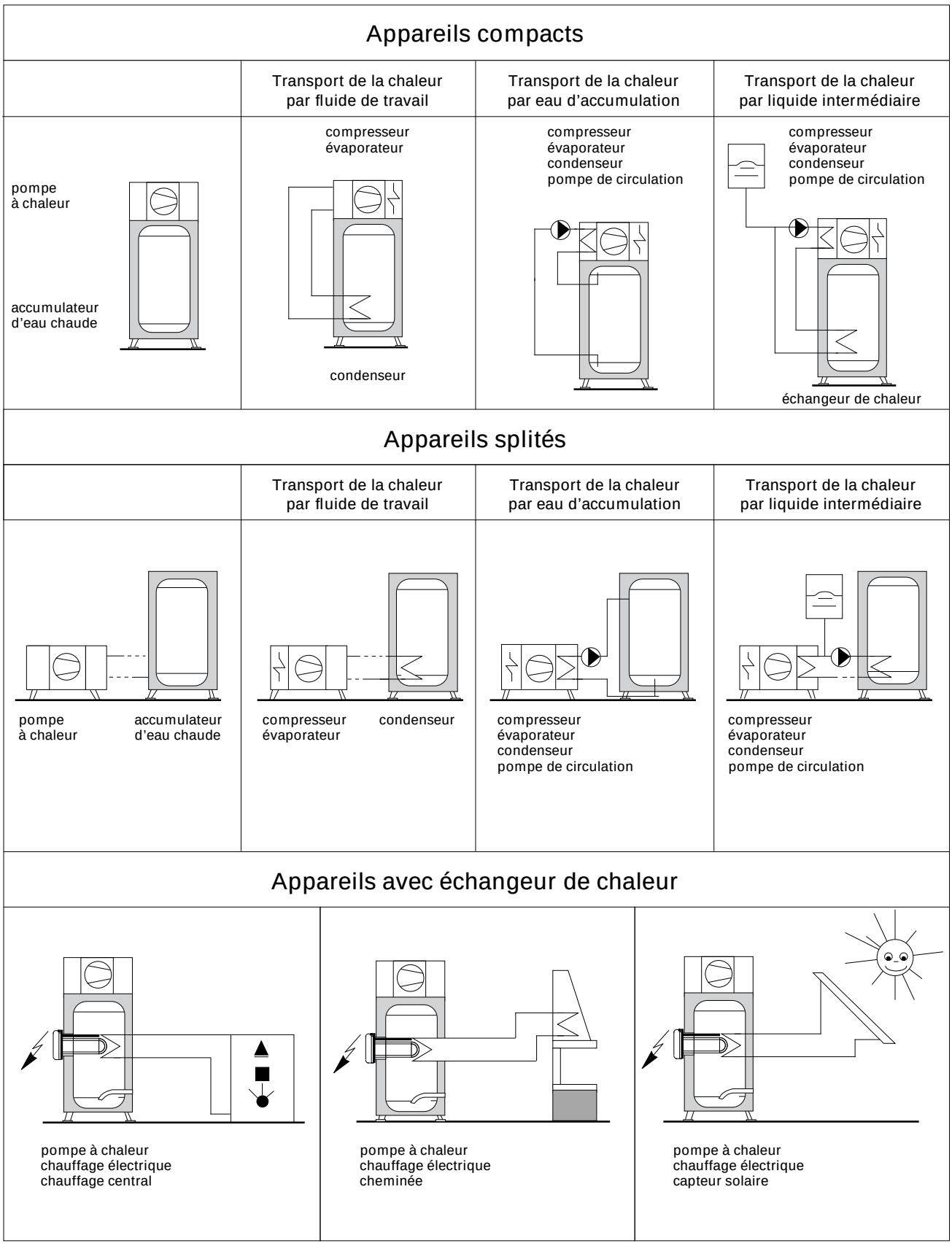


Figure 2.3.2.1: Représentation symbolique des différents principes.

Appareils compacts

a) Appareils avec transfert de la chaleur par fluide frigorigène

Avec la plupart des appareils, l'air ambiant est refroidi moyennant un ventilateur et un évaporateur à lamelles. A l'exception du condenseur, les composants du circuit frigorigène sont disposés au-dessus de l'accumulateur d'eau chaude. Cette disposition correspond à la version compacte classique. Avec certaines exécutions, le groupe de la pompe à chaleur peut également se monter sur l'accumulateur indépendant existant après enlèvement du registre de chauffage. Avec cette solution, on utilise alors un évaporateur statique à plaques en lieu et place de l'évaporateur à lamelles avec ventilateur, la grande surface de l'échangeur de chaleur permettant en l'occurrence de renoncer au ventilateur.

A partir de janvier 1994, les CFC sont interdits et l'on ne peut utiliser que du R22 transitoirement ou du R 134a comme fluide frigorigène.

Pour des appareils avec disposition directe du condenseur dans l'accumulateur d'eau chaude, les exigences suivantes sont requises :

1. Outre les frigorigènes susmentionnés, on n'utilisera que des lubrifiants ne présentant aucun danger pour le consommateur d'eau potable, et cela même en cas de dysfonctionnement. On n'additionnera pas d'autres adjuvants au frigorigène.
2. Les échangeurs de chaleur entre le frigorigène et l'eau potable ne doivent pas présenter de points ou joints soudés, d'assemblages vissés ou encore d'assemblages d'un autre type. Le matériau doit présenter une sécurité élevée contre les dommages par la corrosion (homologation SSIGE)
3. Avec des chauffe-eau à condenseur intérieur, il faut prévoir un dispositif automatique de dégazage qui empêchera un dégagement de frigorigène sous forme gazeuse dans les locaux d'habitation par la conduite d'eau potable.

Les appareils avec intégration directe du condenseur dans l'accumulateur d'eau chaude se caractérisent par de bons coefficients de performance assortis d'une construction économique.

b) Appareils avec transfert de la chaleur par l'eau d'accumulation

Avec cette exécution, l'eau de l'accumulateur est pompée par un circulateur à travers l'échangeur de chaleur disposé à l'extérieur du réservoir. Le circulateur, l'échangeur de chaleur et les autres composants du circuit frigorifique peuvent en l'occurrence s'installer à proximité immédiate du réservoir d'eau ou directement sur celui-ci.

c) Appareils avec transfert de la chaleur par liquide intermédiaire

Avec ce concept, le transport de la chaleur du condenseur à l'accumulateur s'effectue moyennant un liquide intermédiaire, respectivement un échangeur de chaleur de sécurité. Les composants du circuit frigorifique sont installés à demeure au-dessus du réservoir et ne peuvent en être dissociés. Ce type d'installation implique une construction plus complexe en raison de l'échangeur de chaleur supplémentaire.

d) Appareils avec condenseur extérieur

Avec ce type d'appareil, le condenseur est disposé autour de l'accumulateur d'eau chaude. Une infiltration du frigorigène dans l'accumulateur d'eau chaude est donc exclue. Etant donné les surfaces importantes de l'échangeur, le dépôt de tartre est très faible.

e) Appareils avec échangeur de chaleur incorporé

Avec ce type d'appareil, un échangeur de chaleur est intégré à l'accumulateur d'eau chaude. Il est ainsi possible de préparer de l'eau chaude en utilisant du gaz, du mazout, des combustibles solides via une unité de production de chaleur telle qu'une chaudière, ou encore de l'énergie solaire. L'apport de chaleur s'effectue indirectement via un échangeur de chaleur par un caloporteur tel qu'eau de chauffage, vapeur, etc. Avec cette solution, le débat sur le thème du « pillage de chaleur » est secondaire. Ces appareils peuvent en effet être exploités avec la pompe à chaleur jusqu'à la limite de chauffage («températures élevées de l'air »), puis la relève est assurée par l'unité de production de chaleur en service.

Appareils split

Les appareils avec lesquels la pompe à chaleur et l'accumulateur d'eau chaude sont installés séparément conviennent pour des applications où la source de chaleur et l'emplacement du réservoir d'eau sont dissociés dans l'espace et nécessitent un raccordement par des tuyauteries.

a) Appareils avec transfert de la chaleur par fluide frigorigène

Avec cette solution, la dissociation des groupes s'opère au niveau du circuit de fluide frigorigène. En l'occurrence, on monte sur place des conduites remplies d'un agent frigorigène entre le compresseur et l'évaporateur de la pompe à chaleur d'une part ainsi que le condenseur placé dans le réservoir d'eau d'autre part.

Les conduites remplies de frigorigène et fermées à leurs extrémités par des feuilles métalliques sont disponibles en différentes longueurs. Lors du montage par vissage des conduites, une broche perce chaque fois la feuille métallique et rend ainsi le circuit frigorifique opérationnel. Avec ce type d'installation, un split est possible sans circulateur ou échangeur de chaleur supplémentaire.

b) Appareils avec transfert de la chaleur par l'eau d'accumulation

Avec cette solution, l'eau de l'accumulateur est pompée par un circulateur à travers l'échangeur de chaleur disposé à l'extérieur de l'accumulateur dans la pompe à chaleur. Il est possible d'utiliser un accumulateur indépendant existant moyennant l'acquisition d'une pompe à chaleur à eau chaude pour réaliser une installation split. Etant donné le contact direct du condenseur avec l'eau à chauffer, les exigences requises sous lettre «a» sont également applicables ici.

c) Appareils avec transfert de la chaleur par liquide intermédiaire

Avec cette exécution, un circuit fermé d'eau de chauffage assure le transport de chaleur du condenseur à l'accumulateur d'eau chaude. Pendant l'exploitation de la pompe à chaleur, une pompe assure la circulation du liquide intermédiaire entre le condenseur et l'échangeur de chaleur dans l'accumulateur d'eau chaude.

Le circuit du liquide intermédiaire doit être équipé d'un dispositif automatique de dégazage.

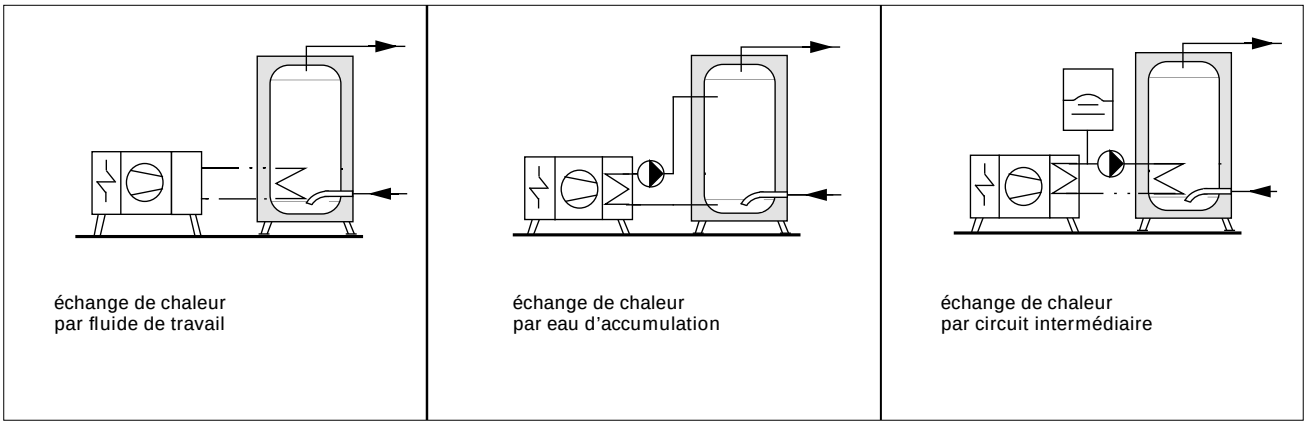


Figure 2.3.2.2 : Aperçu des appareils split.

2.3.3 Détermination du volume de l'accumulateur

Si le chauffe-eau à pompe à chaleur est chauffé uniquement de nuit à bas tarif, le volume sera majoré de 10% comparativement à un chauffe-eau électrique, et ce pour des conditions telles que précisées ci-dessous:

– mêmes besoins d'eau chaude;
– mêmes pertes de distribution;
– mêmes temps de charge.

Température de l'eau chaude 55° C

La question se pose de savoir si le concept usuellement retenu en Suisse d'une charge nocturne de 3, 4, 6 ou 8 heures et donc d'accumulateurs d'eau chaude relativement gros est correct, car les températures de l'air extérieur sont de quelques K inférieures de nuit à celles relevées pendant la journée, ce qui agit négativement sur le coefficient annuel de travail pour un pur service nocturne. Comme la différence entre la bas tarif et le haut tarif s'amenuise toujours davantage, le chauffe-eau à pompe à chaleur devrait se charger sur 20 – 24 heures. Il serait ainsi possible de se contenter de volumes et de groupes plus petits. Compte tenu des températures d'eau chaude de 5 K inférieures, les bases usuelles de dimensionnement des chauffe-eau restent valables.

2.3.4 Emplacement de la pompe à chaleur

Emplacement idéal

Comme local d'installation, on optera de préférence pour un local qui ne doit pas être chauffé et qui pourra en l'occurrence se contenter de la chaleur dissipée. Les locaux en sous-sol et locaux d'angle avec au minimum une paroi extérieure conviennent particulièrement bien.

Le volume de l'emplacement d'installation doit être de 25 m^3 au minimum par 1 kW de puissance nominale absorbée, sans quoi un ventilateur devra évacuer l'air refroidi à l'extérieur ou dans un autre local.

Pour une exploitation au-dessus de la limite de chauffage de +12° C, un orifice minimal d'environ 0,5 m^2 donnant sur l'extérieur est indispensable. Au besoin, on installera un ventilateur d'évacuation.

On veillera simultanément à ce que les conduites jusqu'aux principaux points de soutirage – cuisine, salle de bains – soient aussi courtes que possible. Si ces exigences ne peuvent pas être satisfaites, il faudra choisir un autre local d'installation ou examiner la possibilité d'opter pour un appareil split.

Si l'on opte pour un autre local, il faudra prévoir une communication avec le local où s'échappe la chaleur perdue afin de garantir l'échange thermique nécessaire par renouvellement d'air.

On trouve sur le marché des appareils munis de raccords pour gaines de ventilation.

Locaux inappropriés

Si l'on utilise des appareils compacts, les locaux suivants ne conviennent pas:

Caves à légumes, celliers
Pendant le fonctionnement de la pompe à chaleur, l'air du local dans lequel elle est installée chute de 1 à 7 K en fonction de la grandeur du local. Ces rapides variations de température sont préjudiciables à la conservation du vin.

Si la température de surface de l'évaporateur se situe au-dessous de la température du point de rosée de l'air ambiant, l'air ambiant est déshumidifié, ce qui a pour conséquence d'extraire l'humidité des fruits, des légumes et des bouchons des bouteilles de vin.

Locaux poussiéreux ou soumis à des émissions poussiéreuses
La saleté et la poussière peuvent provoquer un engorgement de l'évaporateur. La poussière très fine est particulièrement dangereuse, car elle peut rester collée sur les lamelles humides.

Garages (locaux soumis aux prescriptions de la police du feu)
Les chauffe-eau à pompe à chaleur sont soumis aux mêmes prescriptions et directives pour cette catégorie de locaux que les chauffe-eau (voir point 2.2.7).

Les locaux dans lesquels on entrepose des solvants sont particulièrement dangereux.

Un ventilateur peut répandre des gaz explosifs dans tout le local, accroissant ainsi le risque d'explosion.

Locaux exposés à un risque de gel (par exemple galetas)
Dans ces locaux, les conduites et l'accumulateur pourraient geler et être endommagés.

Locaux chauffés
Pour des raisons énergétiques, il n'est pas indiqué d'installer un chauffe-eau à pompe à chaleur avec l'air de locaux chauffés, comme source de chaleur.

Appareils split
Ces problèmes peuvent parfois être résolus avec des appareils split, notamment en utilisant des évaporateurs statiques – par exemple dans des locaux exposés à un risque de gel, lorsque le transport de la chaleur est assuré par un fluide frigorigène.

On relèvera surtout que le prélèvement de chaleur dans le local ne dépend pas de la température ambiante, mais de la consommation d'eau chaude.

2.3.5 Source de chaleur

En utilisant des chauffe-eau à pompe à chaleur, la chaleur perdue doit servir de source de chaleur. En l'occurrence, on tiendra compte de la définition suivante :

La chaleur perdue est la chaleur qui est produite par un processus et qui ne peut techniquement pas être utilisée directement au profit de celui-ci.

La chaleur perdue doit ici être équivalente ou supérieure aux besoins correspondants de l'évaporateur du chauffe-eau à pompe à chaleur prévu.

Si des appareils avec échangeur de chaleur incorporé sont raccordés à un système de chauffage, les exigences ci-dessus ne sont pas absolues – car le chauffe-eau à pompe à chaleur n'est pas en service pendant la période de chauffage.

2.3.6 Coefficient de performance

Le coefficient de performance met en rapport la dépense d'énergie avec le rendement, c'est-à-dire la quantité de kWh puisée dans le réseau pour obtenir un rendement thermique donné.

Ce rapport dépend de trois paramètres qui doivent toujours être indiqués, à savoir :
– limite du bilan ;
– période d'observation ;
– augmentation de température entre la source de chaleur et le chauffage.

Le tableau 2.3.6.1 ci-dessous présente les coefficients de performance possibles.

Les valeurs possibles en l'état actuel de la technique pour des pompes à chaleur équipées d'un moteur électrique figurent dans le tableau 2.3.6.2.

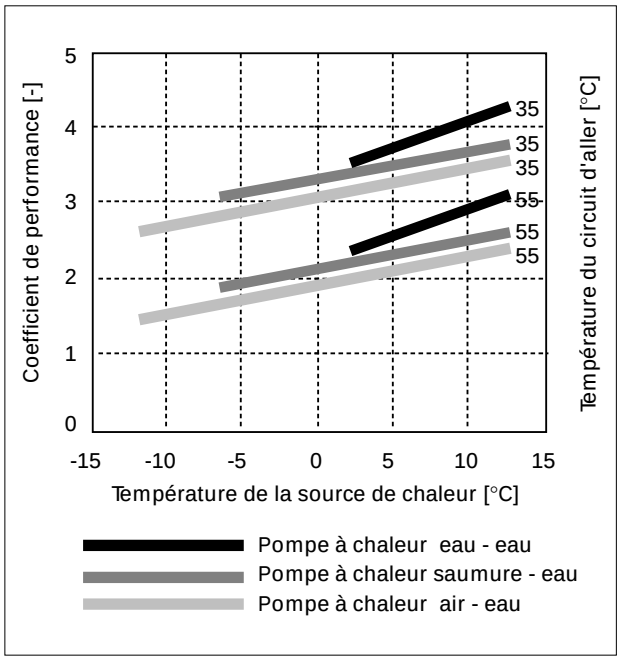


Tableau 2.3.6.1 : Coefficient de performance.

Type de construction	Coefficient de performance	Coefficient de travail annuel	Coefficient d'utilisaton du système
Eau - eau (monovalent)	2,9 ... 3,4	2,4 ... 2,9	1,5 ... 2,5
Saumure - eau (monovalent)	2,9 ... 3,4	2,4 ... 2,9	1,5 ... 2,5
Air - eau (bivalent)	2,9 ... 3,4	2,4 ... 2,9	1,5 ... 2,5

Tableau 2.3.6.2 : Coefficients de performance possibles.

2.4 Comportement pratique

2.4.1 Critères

Les paramètres qui influencent le comportement pratique d'un chauffe-eau sont multiples:
- charge;
- décharge;
- stratification;
- température de service;
- système de distribution;
- qualité de l'eau.

La «conjugaison» optimale de toutes ces influences joue un rôle déterminant sur l'étude d'un chauffe-eau.

2.4.2 Charge

Que se passe-t-il dans un chauffe-eau lors de sa charge par chauffage direct au moyen d'un corps de chauffe électrique?

Lorsque de l'eau est chauffée en un point de son volume, sa densité diminue et elle se déplace vers le haut. Au-dessus d'un corps de chauffe, l'eau chaude s'élève comme de la fumée au-dessus d'un feu. L'eau située au-dessous du corps de chauffe ne peut pour ainsi dire pas être chauffée, et reste pratiquement froide.

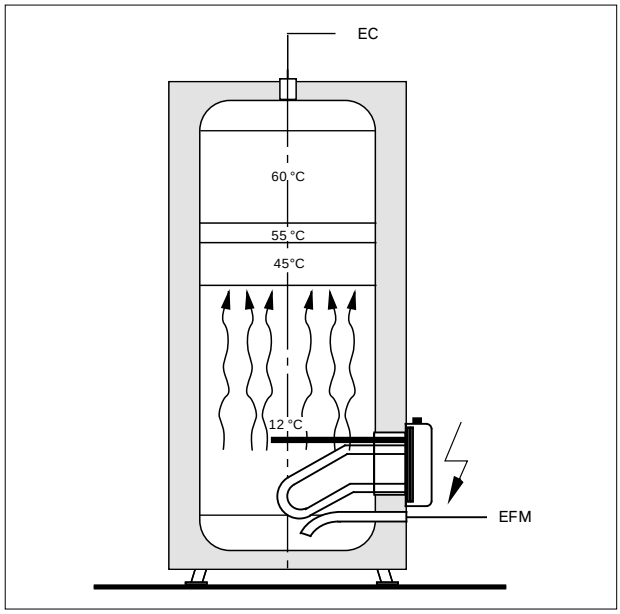


Figure 2.4.2.1: Avec une charge statique, l'eau diminuant sa densité se meut vers le haut et s'établit dans sa couche de température.

Ce phénomène est mis à profit dans un chauffe-eau automatique et avec le système Magro.

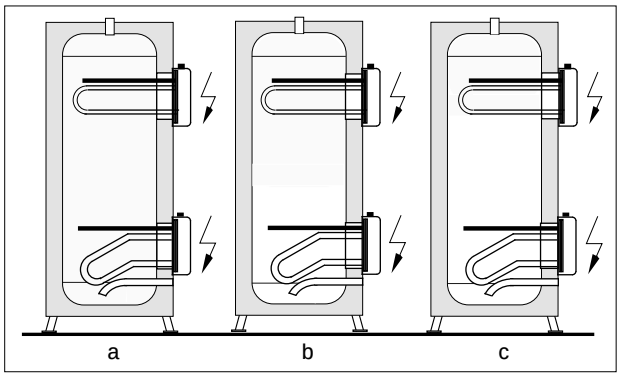


Figure 2.4.2.2:

a) Tout le contenu est chauffé à bas tarif pendant la nuit par le corps de chauffe inférieur.

b) En soutirant de l'eau chaude, de l'eau froide s'introduit dans la partie inférieure du réservoir. Grâce à la conception spéciale du tube d'alimentation en eau froide, il se forme une stratification entre l'eau froide et l'eau chaude.

c) Dès que le niveau d'eau froide atteint le régulateur de température du corps de chauffe supérieur, le chauffage diurne s'enclenche jusqu'à ce que la partie supérieure du contenu soit à nouveau chauffée.

Si l'on voulait chauffer (chauffage d'appoint) uniquement la partie inférieure froide pendant la journée, il serait impossible de le faire!

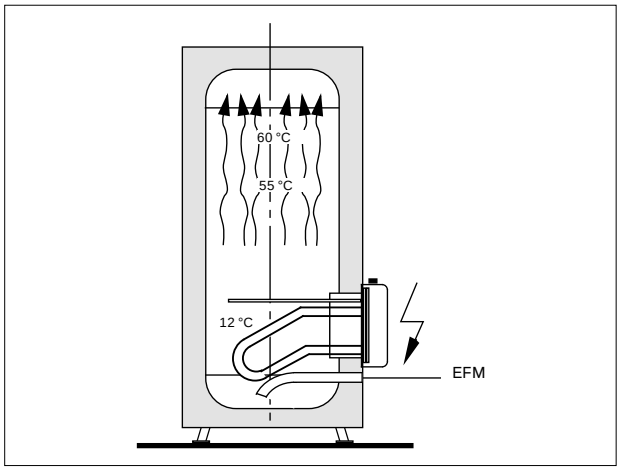


Figure 2.4.2.3: Situation pour charge d'appoint diurne avec élément chauffant inférieur.

2.4.3 Décharge

Les processus suivants se traduisent par une décharge des chauffe-eau :

- soutirage ;
- pertes de circulation (système de distribution) ;
- circulations internes dans l'accumulateur par conduction thermique des parois et des tubulures froides.

Ces facteurs influencent la décharge d'un chauffe-eau d'une manière déterminante.

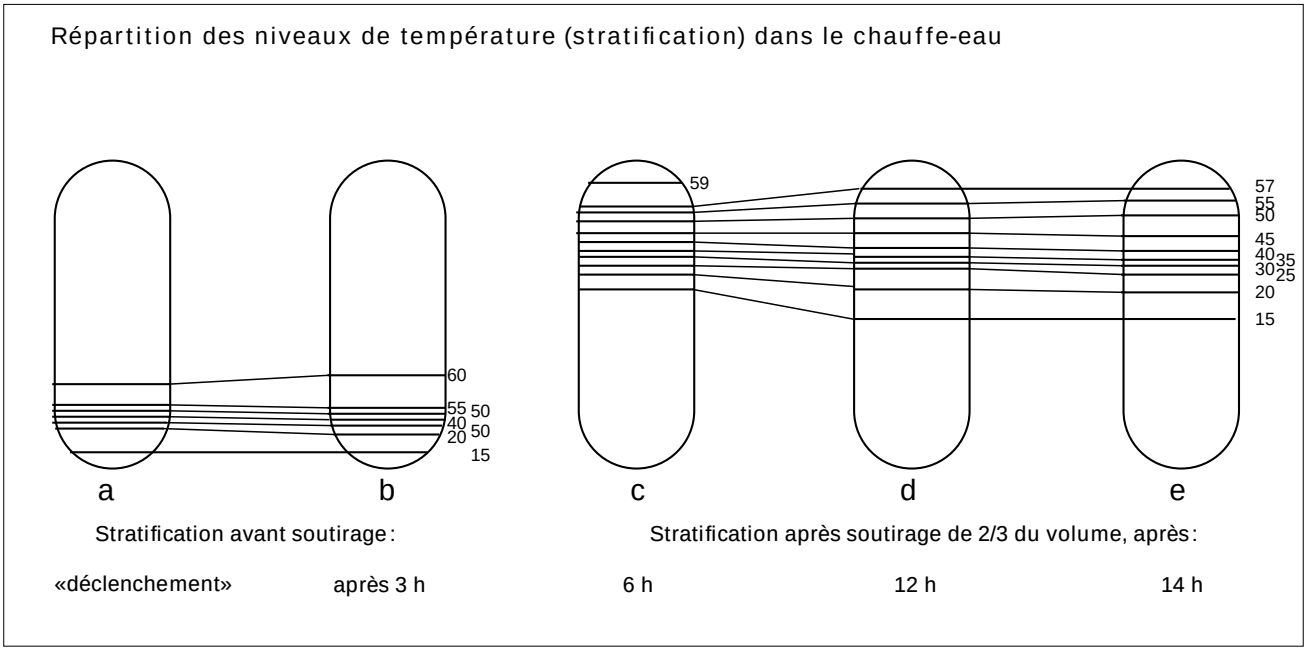


Figure 2.4.3.1: Répartition des niveaux de température dans des accumulateurs d'après les mesures du LWB.

Tableau 1

Volume utile, c'est-à-dire volume à température d'au moins 50° C disponible de suite après le déclenchement du réchauffage (60° C).

Volume de soutirage 10 l/min						20 l/min			30 l/min			40 l/min		
Vn	Vb	Ve	l	% Vn	% Ve	l	% Vn	% Ve	l	% Vn	% Ve	l	% Vn	% Ve
200	210	192	200	100	104	195	98	102	182	91	95	173	87	90
300	320	290	307	102	106	300	100	103	286	95	99	274	91	94
500	524	460	483	97	105	472	94	103	462	92	100	452	90	98

Vn Volume nominal selon plaquette signalétique
Vb Volume brut du chauffe-eau
Ve Volume du chauffe-eau sans la zone en dessous du corps de chauffe

Dans la pratique, on constate ce qui suit :

(commentaires se rapportant au tableau 1)

- Avec une courbe de soutirage « normale » dans le ménage (soutirages répartis sur 14 heures environ), on obtient une répartition très plate des niveaux de température.
- Après douze heures ou plus entre le premier et le dernier soutirage, la « zone mixte » s'étend sur presque tout l'accumulateur. Le volume n'est toutefois pas perdu pour une utilisation.
- Lors du dernier soutirage en fin de soirée, le diagramme montre qu'indépendamment de l'épaisseur de la zone mixte, on peut encore soutirer de l'eau chaude à 40° C ou plus, à raison d'environ 103 % de la capacité nominale.
- Pour des chauffe-eau domestiques jusqu'à 300 litres, on peut ainsi renoncer à l'application d'un supplément général de 10 %. Par contre, un supplément est normalement justifié pour d'autres domaines d'application affectés de soutirages de pointe plus importants et/ou de températures minimales plus élevées.

Pour être justifiées, ces réflexions doivent toutefois se situer dans le contexte suivant :

- Isolation thermique optimale de l'accumulateur.
- Construction correcte du réservoir (tubulures, rapport diamètre-hauteur).
- Pas de convection perturbatrice assortie de fortes pertes à l'intérieur de l'accumulateur.

2.4.4 Stratification

Au cours des dix dernières années, on a très soigneusement étudié le phénomène de la stratification en corrélation avec les pertes thermiques dans les accumulateurs d'eau chaude.

On savait depuis longtemps déjà qu'en se réchauffant, l'eau allait prendre place sur différents niveaux de température (stratification), mais les raisons capables de bouleverser très rapidement cette stratification restaient encore assez imprécises.

Stratification normale

Les mesures de stratification effectuées par le LWB sont reportées dans la figure 2.4.3.1.

Causes d'une perturbation de la stratification

La figure suivante présente les causes les plus fréquemment à l'origine d'une perturbation de la stratification dans un chauffe-eau :

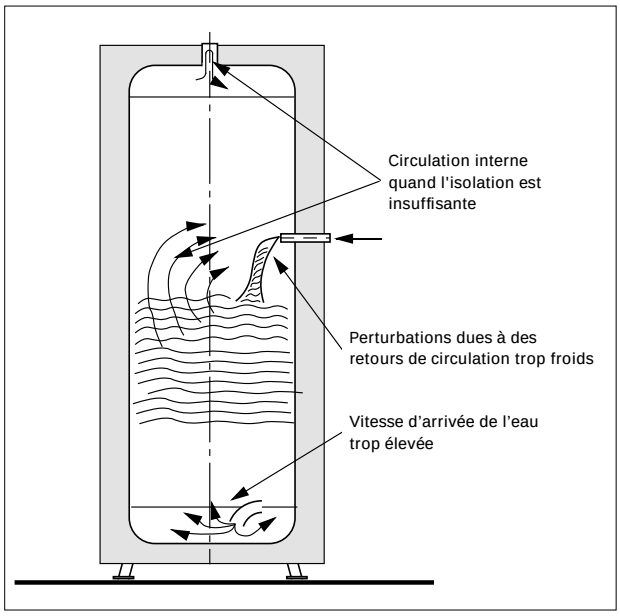


Figure 2.4.4.1 : Causes d'une perturbation de la stratification.

Remède

Avec des chauffe-eau domestiques jusqu'à 500 litres (sans circulation), il suffit que le chauffe-eau réponde aux exigences d'une construction correcte et d'une isolation thermique optimale. Il est toutefois important d'isoler la tubulure de sortie vers les différentes conduites de distribution.

Avec de grandes installations à réchauffage électrique, la tâche consistant à éviter une perturbation de la stratification est beaucoup plus délicate. On veillera en particulier aux points suivants :

- Préparation de quantités d'eau chaude suffisantes, compte tenu des pertes.
- Eviter les boucles de circulation (ruban chauffant électrique conseillé).
- Isolation thermique optimale de l'accumulateur.
- Pas de tubulures de réserve inutiles.
- Eviter des circulations internes provoquées par les conduites externes d'alimentation.

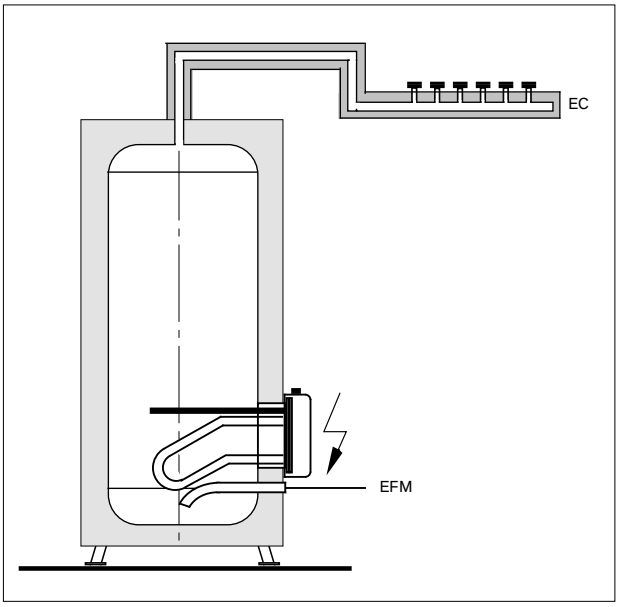


Figure 2.4.4.2 : Chauffe-eau bien conçu pour villas familiales.

Une autre possibilité pour éviter une perturbation de la stratification consiste en un chauffage d'appoint externe du retour de circulation. L'inconvénient de cette solution réside dans le fait qu'il faut disposer en permanence d'énergie pour le chauffage d'appoint.

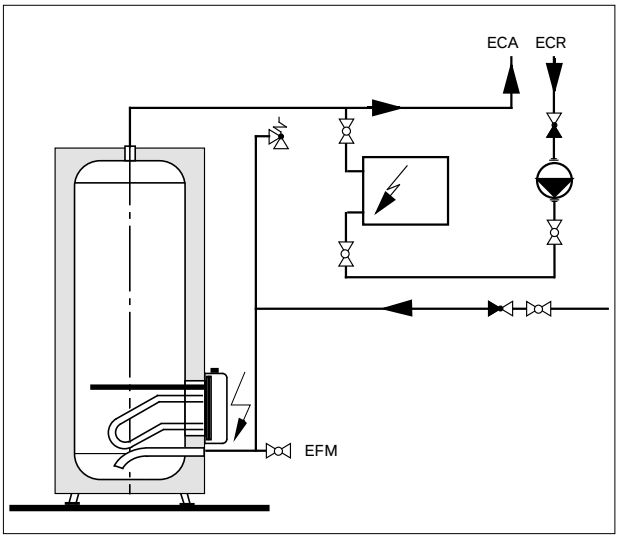


Figure 2.4.4.3 : Installation de préparation d'eau chaude avec chauffage d'appoint de la circulation.

2.4.5 Températures d'exploitation

La plage de choix de la bonne température d'exploitation est très grande. D'une part, elle est influencée par les économies d'énergie ; d'autre part, les besoins des consommateurs sont très divers. Voici quelques exemples qui sont déterminants comme paramètres pour la détermination de la température de l'eau chaude :

- Soins corporels environ 45° C
- Douches collectives environ 40° C
- Cuisines domestiques environ 50° C
- Cuisine professionnelle environ 60° C
- Désinfection (boucheries) jusqu'à 90° C
- Industrie en fonction des besoins

Selon les circonstances, il en résulte une plage d'environ 45 – 90° C pour les besoins normaux d'un complexe immobilier. Dans ces conditions, ou l'on convient d'une température convenable pour chacun, ou l'on s'arrange pour que chacun dispose de la température désirée moyennant des robinetteries mitigeuses centrales.

Dans certains cas, le problème des « légionelles » fait que l'on choisit une température d'eau chaude non plus en se basant sur une température maximale de 60° C, mais sur une température minimale de 60° C à la sortie de la robinetterie de soutirage (voir chapitre 7.2).

2.4.6 Composition de l'eau

La composition de l'eau a les influences suivantes sur le comportement pratique d'une installation de préparation d'eau chaude :

- Dépense énergétique (couches de tartre sur les parties thermoconductrices).
- Corrosion.
- Obturation des piquages et conduites consécutive à l'entartrage.

Pour pouvoir se prononcer sur la nécessité d'un traitement, on aura recours à une analyse de l'eau. Cette analyse est normalement disponible auprès du service des eaux, sans quoi on pourra prélever un échantillon sur place afin de le faire analyser par un laboratoire qualifié.

Les conclusions à tirer de l'analyse nécessitent certaines connaissances en matière de chimie hydraulique.

2.5 Commande et régulation

Introduction
La régulation d'un chauffe-eau ne présuppose pas de hautes exigences techniques. Ce sont plutôt différentes fonctions de commande de la charge du chauffe-eau qui présentent des difficultés. Nous allons nous pencher sur celles-ci dans ce chapitre.

Différentes lois énergétiques prescrivent des mesures à effectuer sur les installations de préparation d'eau chaude. Même sans être obligatoires, des mesures peuvent fournir des renseignements intéressants sur le fonctionnement d'une installation.

2.5.1 Chauffe-eau

Pour les fonctions usuelles de régulation des chauffe-eau électriques, on utilise des thermostats qui enclenchent ou déclenchent le corps de chauffe. Pour une charge nocturne, la commande horaire s'opère par une horloge ou une télécommande sur le réseau du fournisseur d'électricité. En fonction des conditions-cadres du fournisseur, il est naturellement aussi possible d'influencer le processus de charge par des couplages manuels, des horloges de commande ou des thermostats.

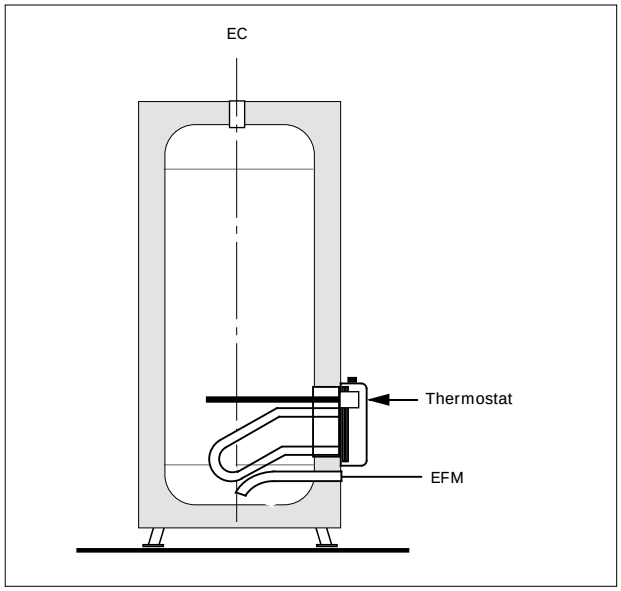


Figure 2.5.1.1 : Chauffe-eau électrique indépendant avec couplage thermostatique en/hors.

Chauffe-eau « Magro »
Dans les années 30, Max Grossen, collaborateur des Forces Motrices Bernoises, a voulu, pour égaliser la charge des usines au fil de l'eau, accumuler le plus possible de courant, respectivement de chaleur dans les accumulateurs pendant les heures de faible charge afin de disposer du maximum de réserve durant les heures de pointe.

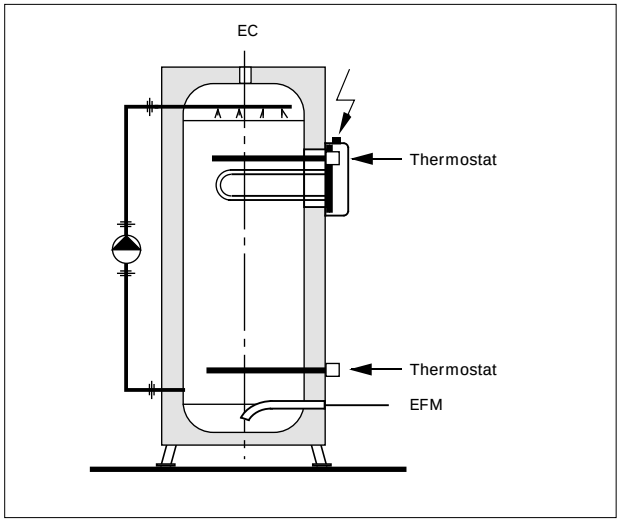


Figure 2.5.1.2 : Chauffe-eau Magro classique avec registre dans la partie supérieure et thermostats.

Le chauffage électrique devait intervenir pendant les heures suivantes :
- de 22.00 à 06.00 h pendant les jours ouvrables ;
- durant toute la journée en week-end.

Ce type de couplage autorise une charge pendant 88 h par semaine, dont approximativement la moitié en week-end. Pour mettre ces périodes de temps à profit, l'installation doit satisfaire aux conditions suivantes :
– Gros accumulateur avec réserve de consommation pour au moins un jour.
– Possibilité de simultanéité du chauffage et du soutirage.
– Pas de perturbation de la stratification dans l'accumulateur.

La particularité de ce système de charge réside dans le fait que l'accumulateur se charge de haut en bas. Ce système de charge s'utilise encore aujourd'hui, d'une part sous la forme de chauffe-eau « Magro » classique, et d'autre part de systèmes avec échangeurs de chaleur externes (par exemple échangeurs à plaques).

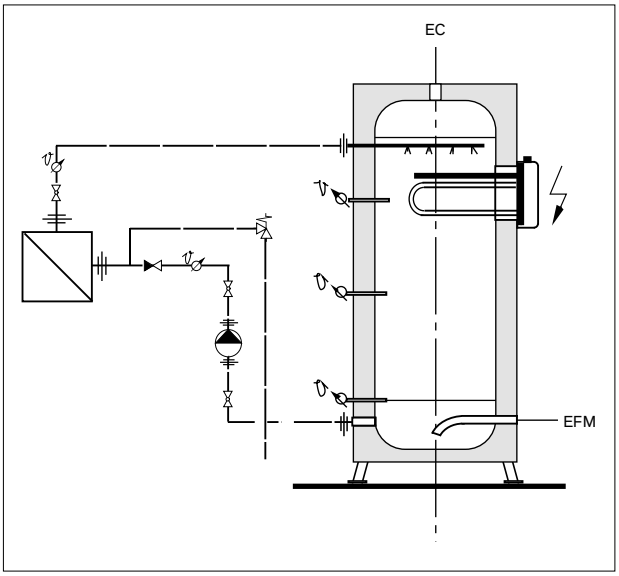


Figure 2.5.1.3 : Système Magro avec échangeur externe à plaques et unité de commande.

Afin de pouvoir respecter avec ce système la condition concernant le chauffage d'appoint pendant la période d'utilisation, l'eau du circuit secondaire doit être chauffée à la température de consigne (par exemple 60° C) par l'intermédiaire d'un circuit de circulation. On peut y parvenir

– soit en réglant la température du circuit primaire ;
– soit en réglant le débit ou la température du circuit secondaire.

Si le côté primaire d'un échangeur de chaleur est par exemple desservi par des unités de production de chaleur à basse température (pompe à chaleur, chaudière à condensation, etc.), il est absolument indispensable de pouvoir maintenir une basse température de retour. L'échangeur devra donc être dimensionné en conséquence.

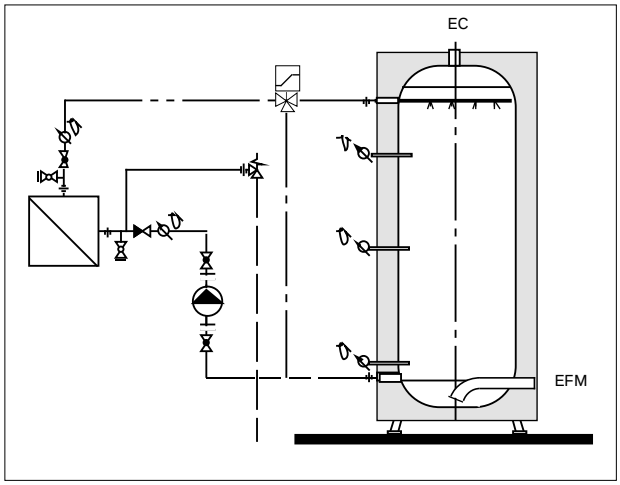


Figure 2.5.1.4 : Système Magro avec échangeur externe à plaques et unités de commande, y compris régulation de la température sur le côté secondaire.

Avec ce couplage, l'accumulateur sert de pur tampon. Si de l'énergie est constamment disponible, il permet de faire diminuer le nombre des enclenchements et de prolonger les phases de service du chauffage. Si le système est alimenté par de l'électricité, il doit pouvoir accumuler l'équivalent des besoins quotidiens afin que le chauffage puisse s'effectuer pendant les heures à bas tarif.

2.5.2 Boucle de circulation

Dans quelques cantons, la circulation doit être interrompue pendant un certain temps (par exemple 8 heures). En fonction des caractéristiques de l'immeuble, le temps durant lequel la circulation doit être interrompue pourra varier. Il peut même arriver que des laps de temps d'interruption différenciée soient nécessaires à l'intérieur d'un bâtiment.

En termes d'énergie, une interruption de la circulation dans les conduites est généralement judicieuse ; il peut toutefois aussi s'ensuivre des inconvénients :

– longs temps d'attente lorsque la circulation est interrompue ;
– consommation importante d'eau et d'énergie pour réchauffer les conduites ;
– perturbation de la stratification à l'enclenchement de la circulation.

On peut remédier à la perturbation de la stratification par le contenu en eau froide du système d'eau chaude moyennant des mesures techniques de commande, c'est-à-dire en programmant le moment de l'enclenchement de la circulation durant la phase de chauffage. Cela signifie que la perte thermique de l'eau refroidie sera compensée pendant la phase de chauffage. Avec un chauffage d'appoint externe de la circulation, ceci n'est pas nécessaire.

2.5.3 Désinfection thermique

Les connaissances relatives au problème de la légionellose ont abouti à prendre des mesures pour éviter une propagation de l'agent pathogène dans des bâtiments tels que

- hôpitaux;
- cliniques;
- hôtels.

Les accumulateurs d'eau chaude et les systèmes de tuyauterie doivent par conséquent régulièrement être désinfectés thermiquement, les températures devant en l'occurrence être portées nettement au-dessus de 60° C pendant un bref moment.

De telles installations impliquent généralement un problème technique de régulation. Il faut veiller à ce que la température primaire puisse être portée au minimum à 75° C par rapport à la valeur théorique nécessaire. Pour cette augmentation périodique de la température, on installera des sondes ou des thermostats séparés afin de la commander par une horloge. L'augmentation de la température peut également s'opérer au moyen d'une résistance électrique de chauffage.

2.5.4 Pompe à chaleur pour couverture des pertes thermiques de circulation

Une alimentation centrale en eau chaude fonctionne avec un système de circulation. Sur son chemin du chauffe-eau aux points de soutirage et sur le chemin du retour, l'eau chaude se refroidit. Dans des immeubles commerciaux caractérisés par un réseau de distribution très ramifié et une faible consommation d'eau, les pertes de circulation sont souvent plus importantes que l'énergie utilisée pour chauffer l'eau. Ces pertes thermiques doivent être compensées. Normalement, cette compensation s'opère par chauffage de l'eau dans le chauffe-eau.

En termes énergétiques, une bonne solution consiste à couvrir les pertes de circulation par un chauffage direct à l'aide d'une pompe à chaleur intégrée au système de circulation. Cette pompe à chaleur sera installée à un endroit proche de celui où les pertes surviennent, à savoir par exemple dans un garage souterrain. Dans ce garage souterrain, la pompe à chaleur sera montée sous le plafond, non loin de la conduite de circulation d'eau chaude.

La pompe à chaleur fonctionne selon deux principes:

Pendant la journée, la pompe à chaleur est utilisée exclusivement pour la couverture des pertes thermiques de circulation, ce qui signifie que l'eau qui se refroidit dans le réseau de distribution est réchauffée par la pompe à chaleur sans traverser l'accumulateur. De l'eau chaude ne s'écoule de l'accumulateur dans le réseau de distribution que lorsque l'on fait usage d'un point de soutirage.

La stratification dans l'accumulateur n'est ainsi pas perturbée et le volume de celui-ci peut être exploité à la perfection.

De nuit en service de charge à partir de 22 heures, le circulateur et les pompes de charge sont enclenchés et déclenchés par une horloge de commande. Comme précédemment, la pompe à chaleur est commandée par ses thermostats incorporés; lorsque la température d'entrée dans le condensateur atteint la valeur de consigne programmée (ce qui signifie que l'accumulateur est chargé), le compresseur s'arrête.

Résumé

Techniquement, le chauffage de l'eau avec des pompes à chaleur air-eau moyennant une source de chaleur appropriée – par exemple garage souterrain à proximité immédiate – est facilement réalisable. L'installation de la pompe à chaleur peut être confiée à un installateur sanitaire et n'exige pas l'intervention d'un monteur en chauffage. L'exploitation de la pompe à chaleur est fiable (comparable à celle d'un réfrigérateur), économe en énergie (y compris par rapport à l'énergie primaire) et très intéressante économiquement par comparaison avec des alternatives conventionnelles.

Moyennant une optimisation de l'installation parfaitement adaptée aux conditions d'exploitation dominantes, il est normalement possible d'abaisser une fois encore nettement la consommation spécifique d'énergie. Pour réaliser une pareille optimisation, une instrumentation minimale est bien entendu indispensable. Pour toutes les installations équipées d'une pompe à chaleur, il est donc recommandé de prévoir dès le début des organes de mesure correspondants (raccord pour débitmètre, y compris éventuellement tubulures d'entrée et de sortie ainsi que douilles immergées). Après la phase d'optimisation, les instruments eux-mêmes peuvent être démontés pour être utilisés sur d'autres installations.

La quantité de frigorigène, la température de l'eau chaude et les heures de service ont une influence particulièrement importante sur la consommation spécifique d'énergie.

Une pompe à chaleur permet de dimensionner plus modestement l'accumulateur, respectivement d'éviter l'application de suppléments de sécurité. Un sous-dimensionnement éventuel est compensé par la pompe à chaleur en service de circulation.

Une installation équipée d'une pompe à chaleur en lieu et place d'un chauffe-eau d'appoint a pour autre avantage de ménager la chaudière puisque celle-ci reste hors service pendant l'été. On supprime ainsi le mode de service permanent start-stop qui raccourcit la longévité de l'installation, majore les dépenses de maintenance et provoque d'importantes émissions polluantes.

L'inconvénient de la pompe à chaleur réside comme précédemment dans la charge polluante inhérente au frigorigène. Il est donc important d'utiliser une pompe à chaleur dont on pourra minimiser la contenance en frigorigène moyennant différentes mesures techniques (conduites courtes, échangeur de chaleur compact à plaques). Par ailleurs, il va sans dire que l'on accordera le plus grand soin à toute manipulation du frigorigène.

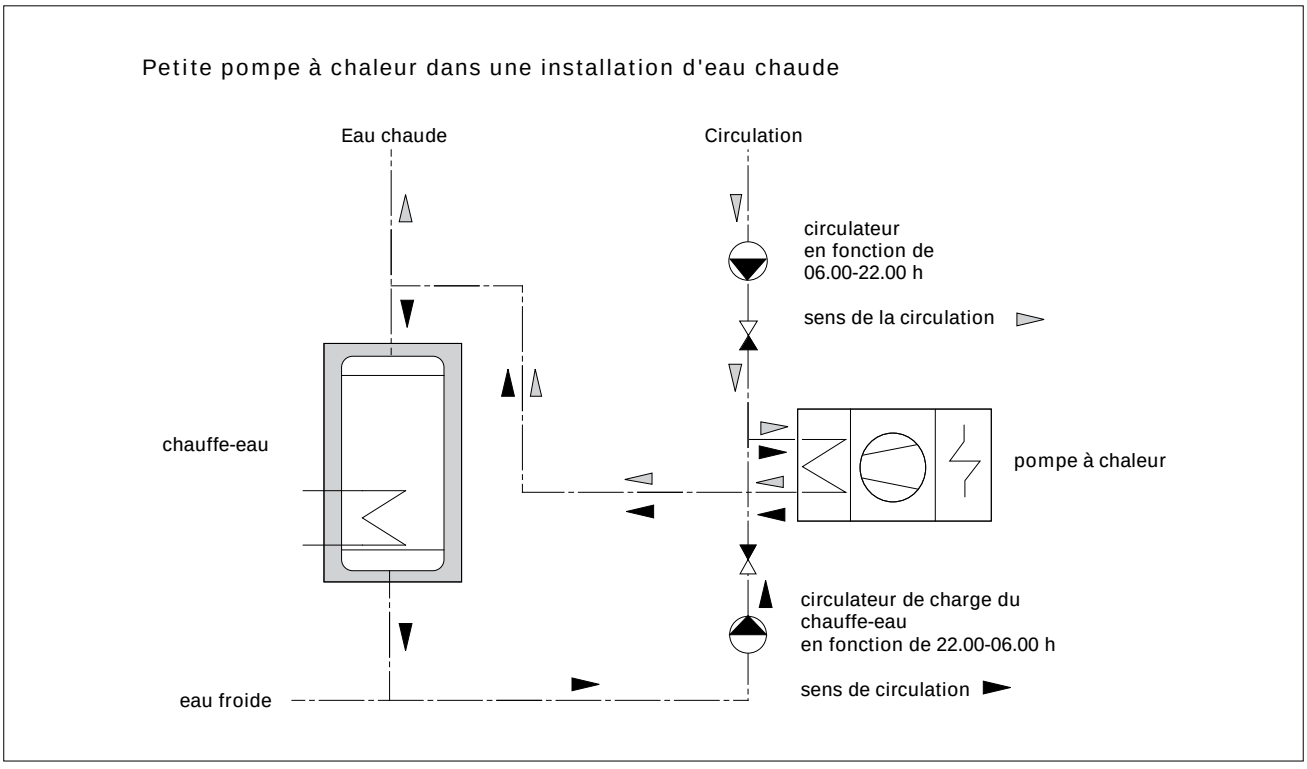
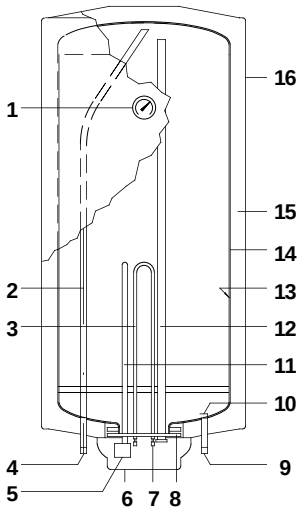


Illustration 2.5.4.5: Représentation schématique de l'utilisation d'une pompe à chaleur dans une installation d'eau chaude.

2.6 Remarques techniques

2.6.1 Construction des chauffe-eau à accumulation

a) Chauffe-eau à accumulation mural (figure 2.6.1.1).

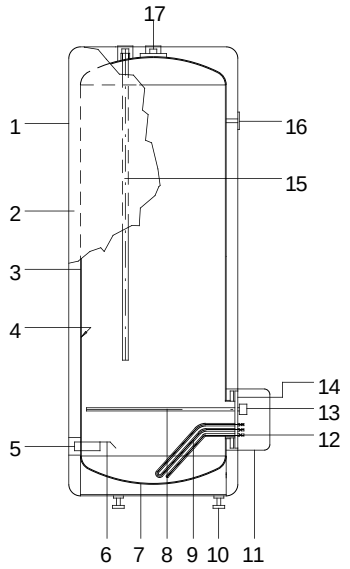


1 Thermomètre
2 Canne d'eau chaude
3 Corps de chauffe
4 Prise d'eau chaude
5 Thermostat de réglage et de sécurité
6 Capot de recouvrement
7 Raccordement électrique du corps de chauffe
8 Flasque
9 Prise d'eau froide
10 Brise-jet
11 Tube plongeur pour sonde de thermostat
12 Anode en magnésium
13 Thermovitrification/émail
14 Cuve/réservoir St.37
15 Calorifugeage PUR (sans CFC)
16 Carrosserie

Chauffe-eau verticaux à partir d'environ 50 jusqu'à 200 litres.

Pour tenir compte des emplacements difficiles, il existe des chauffe-eau muraux horizontaux et plats de 150 à 200 litres de capacité. Les chauffe-eau muraux s'utilisent pour une prise d'eau ou de petits groupes de distribution.

b) Chauffe-eau à accumulation sur pieds (figure 2.6.1.2).

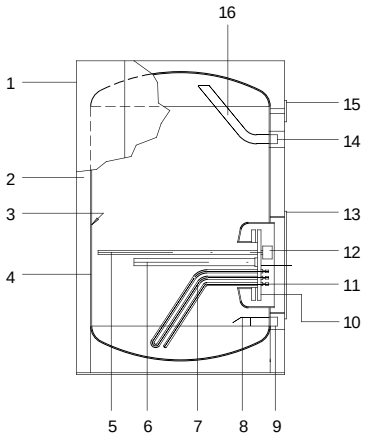


1 Carrosserie
2 Calorifugeage PUR (sans CFC)
3 Cuve/chaudière St.37
4 Thermovitrification/émail
5 Prise d'eau froide
6 Brise-jet
7 Fond
8 Tube plongeur pour sonde de thermostat
9 Corps de chauffe
10 Pieds réglables
11 Capot de recouvrement
12 Raccordement électrique
13 Thermostat de réglage et de sécurité
14 Flasque
15 Anode en magnésium
16 Thermomètre
17 Prise d'eau chaude

A partir d'environ 200 jusqu'à 1000 litres et plus.

Les chauffe-eau sur pieds sont souvent fabriqués dans des grandeurs de 200 à 300 litres en version «compacte», c'est-à-dire avec mousse de polyuréthanne injectée et carrosserie en tôle. Les isolations des chauffe-eau sur pieds de plus de 300 litres sont livrés en 2 ou 3 parties pour des raisons de transport. La cuve, le calorifugeage en mousse tendre PU ou en coquilles de mousse dure PUR et un revêtement synthétique ou en tôle aluman sont livrés sous forme de composants individuels et montés sur le chantier. Les chauffe-eau sur pieds s'utilisent pour une distribution centrale ou groupée avec systèmes de conduites collectifs ou individuels.

c) Chauffe-eau à accumulation à encastrer (sous évier) (figure 2.6.1.3).

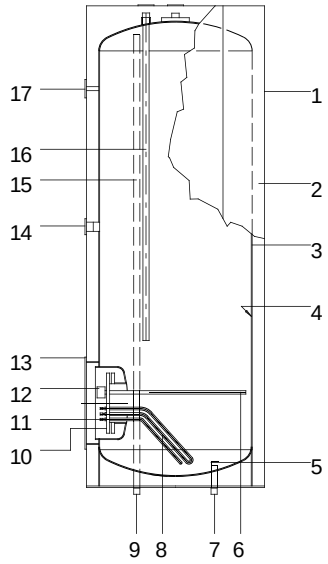


1 Carrosserie
2 Calorifugeage PUR (sans CFC)
3 Thermovitrification/émail
4 Cuve/réservoir St.37
5 Tube plongeur pour sonde de thermostat
6 Anode en magnésium
7 Corps de chauffe
8 Brise-jet
9 Prise d'eau froide
10 Flasque
11 Raccordement électrique
12 Thermostat de réglage et de sécurité
13 Recouvrement
14 Prise d'eau chaude
15 Thermomètre
16 Canne d'eau chaude

Pour encastrement dans cuisines NSAC et EURO-NORM, à partir d'environ 50 jusqu'à 120 litres.

Les chauffe-eau à encastrer sous évier conviennent pour une prise d'eau ou de petits groupes de distribution (studios dans immeuble locatif).

d) Chauffe-eau à accumulation à encastrer (armoire haute) (figure 2.6.1.4).

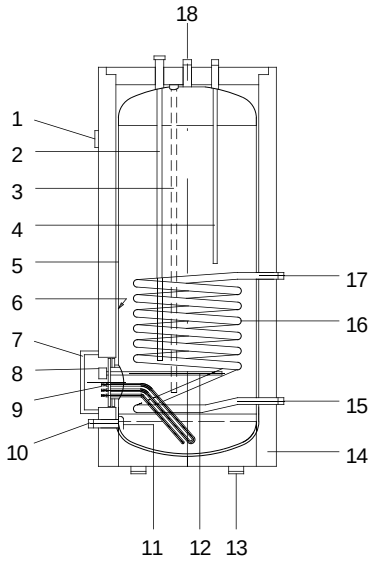


1 Carrosserie
2 Calorifugeage PUR (sans CFC)
3 Cuve/réservoir St.37
4 Thermovitrification/émail
5 Brise-jet
6 Tube plongeur pour sonde de thermostat
7 Prise d'eau froide
8 Corps de chauffe
9 Prise d'eau chaude
10 Flasque
11 Raccordement électrique
12 Thermostat de réglage et de sécurité
13 Recouvrement
14 Manchon pour remplacement de l'anode
15 Canne d'eau chaude
16 Anode en magnésium
17 Thermomètre

Pour encastrement dans cuisines NSAC et EURO-NORM, à partir d'environ 150 jusqu'à 300 litres.

Des constructions spécifiques se prêtent à un encastrement aisé (comme un réfrigérateur ou un lave-vaisselle). Des groupes de sécurité et de robinetterie spécialement homologués garantissent un raccordement facile et peu encombrant. Les chauffe-eau à encastrer pour armoire haute conviennent pour plusieurs prises d'eau dans le cadre d'une distribution groupée (appartements dans immeuble locatif).

e) Chauffe-eau à accumulation avec échangeur de chaleur intégré (figure 2.6.1.5).

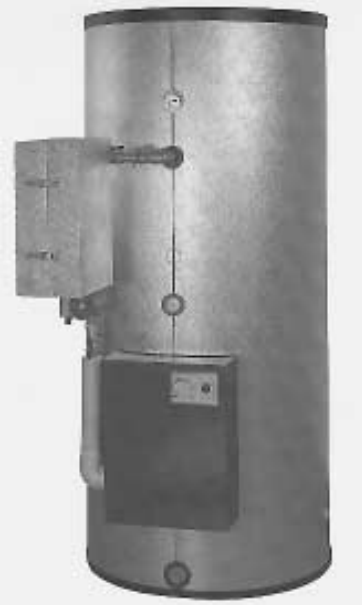


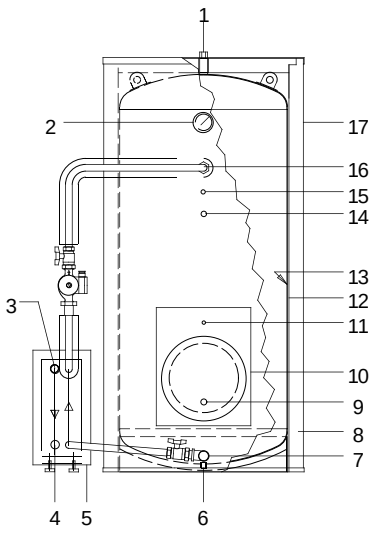
1 Thermomètre
2 Tube plongeur pour sonde de thermostat
3 Anode en magnésium
4 Tube de retour de circulation
5 Cuve/réservoir St.37
6 Thermovitrification/émail
7 Capot de recouvrement
8 Thermostat de réglage et de sécurité
9 Corps de chauffe
10 Prise d'eau froide
11 Brise-jet
12 Tube plongeur pour sonde de thermostat
13 Pied
14 Calorifugeage PUR (sans CFC)
15 Retour chauffage
16 Serpentin
17 Aller chauffage
18 Prise d'eau chaude

Avec échangeur de chaleur intégré, à partir de 150 litres.

Ces appareils conviennent spécialement bien pour une exploitation optimale de l'énergie en mode bivalent et polyvalent. Moyennant l'installation de plusieurs échangeurs de chaleur, il est possible d'exploiter optimalement des énergies alternatives telles que pompes à chaleur, énergie solaire et générateurs de chaleur (chaudières) ainsi qu'une batterie électrique.

f) Chauffe-eau à accumulation avec échangeur de chaleur extérieur (figure 2.6.1.6).



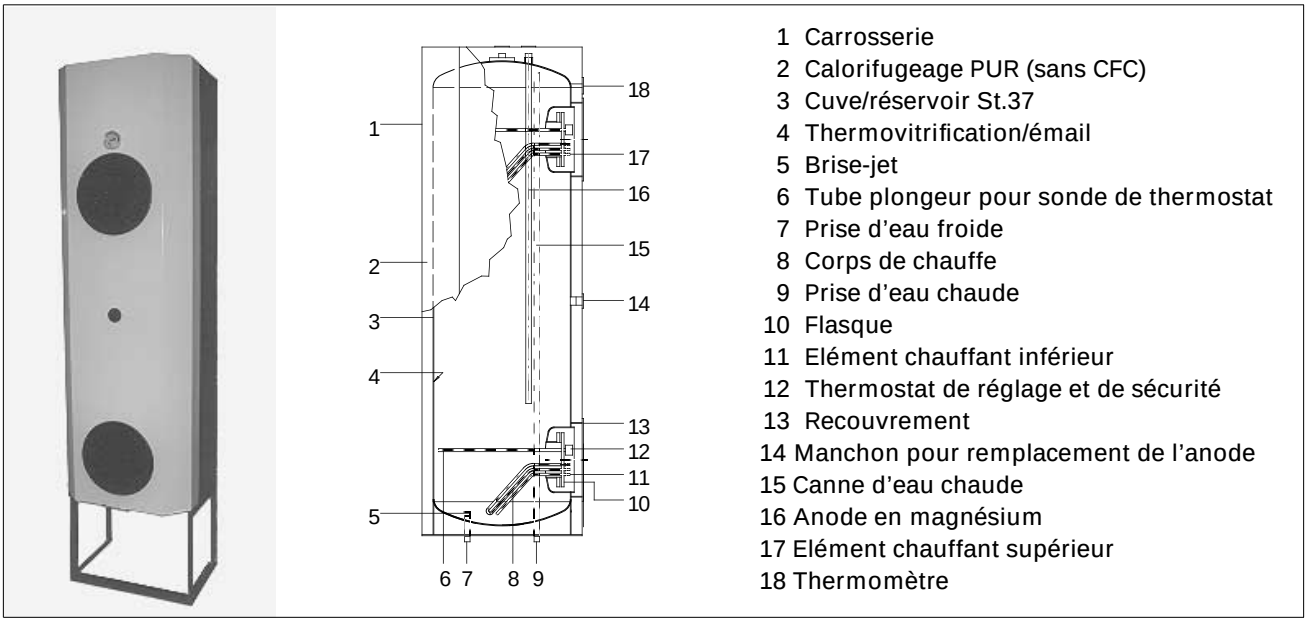


1 Prise d'eau chaude
2 Thermomètre
3 Aller du circuit primaire
4 Retour du circuit primaire
5 Capot de protection de l'échangeur
6 Prise de vidange
7 Prise d'eau froide
8 Calorifugeage PUR (sans CFC)
9 Manchon pour thermostat
10 Capot de protection
11 Manchon pour thermostat
12 Cuve/réservoir St.37
13 Thermovitrification/émail
14 Prise de retour de circulation
15 Manchon pour thermostat
16 Tube diffuseur
17 Carrosserie

Avec échangeur de chaleur extérieur.

S'utilisent pour combiner des énergies telles que mazout, gaz, bois, pompe à chaleur, énergies alternatives, etc.

g) Chauffe-eau automatique (figure 2.6.1.7).

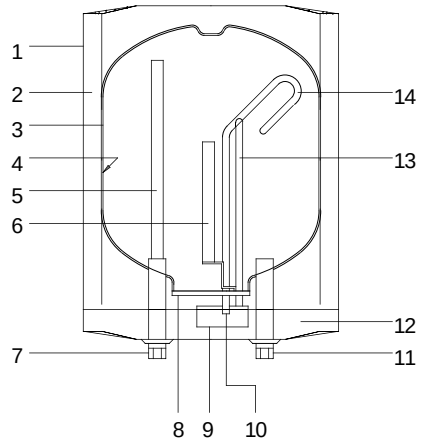


1 Carrosserie
2 Calorifugeage PUR (sans CFC)
3 Cuve/réservoir St.37
4 Thermovitrification/émail
5 Brise-jet
6 Tube plongeur pour sonde de thermostat
7 Prise d'eau froide
8 Corps de chauffe
9 Prise d'eau chaude
10 Flasque
11 Elément chauffant inférieur
12 Thermostat de réglage et de sécurité
13 Recouvrement
14 Manchon pour remplacement de l'anode
15 Canne d'eau chaude
16 Anode en magnésium
17 Elément chauffant supérieur
18 Thermomètre

Chauffe-eau automatiques à partir de 300 jusqu'à 1000 litres.

Le chauffe-eau automatique avec échangeur de chaleur incorporé s'apparente à un chauffe-eau avec deux éléments chauffants ou à un chauffe-eau sur pieds avec échangeur de chaleur incorporé. Ces appareils garantissent une exploitation optimale des sources énergétiques dans l'optique d'une production d'eau chaude. Le raccordement sur pompe à chaleur, énergie solaire, générateur de chaleur (chaudière) et énergie électrique comme base ainsi que le pur chauffage d'appoint dans le tiers supérieur pour la couverture des demandes de pointe assurent une utilisation rationnelle de l'énergie. L'utilisation de ces chauffe-eau est indiquée pour la distribution centrale ou groupée d'eau chaude. Ils conviennent pour des bâtiments à usage mixte avec appartements et entreprises du secteur tertiaire, c'est-à-dire salon de coiffure, boucherie, boulangerie, bureaux, boutiques, etc.

h) «Petits» chauffe-eau à accumulation (figure 2.6.1.8).



1 Carrosserie
2 Calorifugeage PUR (sans CFC)
3 Cuve/réservoir St.37
4 Thermovitrification/émail
5 Canne d'eau chaude
6 Anode en magnésium
7 Prise d'eau chaude
8 Flasque
9 Thermostat de réglage et de sécurité
10 Raccordement électrique du corps de chauffe
11 Prise d'eau froide
12 Capot de recouvrement
13 Tube plongeur pour sonde de thermostat
14 Corps de chauffe

Il existe des «petits» chauffe-eau à accumulation en version sur- ou sous-vier à partir de 5 litres jusqu'à 30 litres.

Les modèles «sans pression» (type ouvert) sont prévus exclusivement pour des raccordements à écoulement libre et doivent, par conséquent, n'être raccordés qu'à une robinetterie appropriée et à un seul poste d'eau.

Les modèles qui supportent la pression peuvent être raccordés indifféremment à une robinetterie à écoulement libre ou traditionnelle. Pour cette dernière, les dispositifs usuels de sûreté sont requis mais, par contre, un deuxième poste d'eau est possible.

2.6.2 Matériau et protection contre la corrosion de l'intérieur du chauffe-eau

Une bonne protection contre la corrosion est particulièrement importante, car l'eau, riche en oxygène, est naturellement agressive. Son action corrosive est renforcée par des déséquilibres dus aux mélanges de provenances, l'influence des engrais (nitrates), des pluies acides (chlorures), etc. Certains matériaux et revêtements anticorrosifs, longtemps considérés comme fiables pour les chauffe-eau, ne donnent plus satisfaction et ont été abandonnés.

a) Acier St 37 galvanisé
Les chauffe-eau « galvanisés » étaient réalisés en acier St 37 et galvanisés au bain, cette galvanisation à chaud et une anode de magnésium devant assurer la protection contre la corrosion. Cette technique est pratiquement abandonnée.

b) Cuivre et alliages de cuivre
Le cuivre présente une bonne résistance à la corrosion, mais son emploi dans la construction de chauffe-eau est peu usité en Suisse et dans les pays voisins. L'échec cuisant dans les années 60 d'un « alliage miracle » – le Simbo – y est peut-être pour quelque chose. Par contre, le cuivre est couramment utilisé dans les pays scandinaves et en Angleterre.

c) Acier inoxydable (acier CrNiMo)
L'acier inoxydable est utilisé pour sa résistance à la corrosion. Pour la construction de chauffe-eau, l'acier doit être suffisamment allié. On utilise généralement les nuances DIN 1.4435 ou 1.4571, soit des aciers à faible taux de carbone avec adjonction de molybdène. Les gaines de corps de chauffe, fortement sollicitées, nécessitent des alliages plus performants à teneur élevée de nickel, tels que le DIN 1.4539, l'Inconel, etc. Il convient d'accorder une attention particulière à la bienfacture des soudures et au décapage intérieur des cuves.

d) Acier St 37 avec revêtement organique ou synthétique
L'acier est soumis à différents traitements préparatoires (traitement chimique ou sablage) pour assurer l'accrochage de l'enduit. On veillera à ne pas dépasser les limites de température prescrites par le fournisseur (généralement 60° C).

Emulsions les plus courantes :
- Rilsan blanc : polyamide 11 ou 12.
- Teflon : P.T.F.E. (polytétrafluoroéthylène).
- Hydroflon : hydrocarbure fluoré.
- Securex : mélange de lait de ciment et d'additifs synthétiques.
- Säkaphen, Proco : résines synthétiques multicouches (duroplast).

e) Acier St 37 émaillé
L'acier pour émaillage est du type pauvre en carbone. Différents traitements sont nécessaires (chimiques ou mécaniques) avant l'émaillage, généralement deux couches successives cuites au four à 890° C. La protection contre la corrosion est complétée par une anode.

2.6.3 Protection cathodique et galvanique contre la corrosion

Chaque revêtement d'émail comporte quelques pores après la cuisson. Pour exclure tout risque, les appareils émaillés seront munis d'une protection cathodique ou galvanique. Cette protection est assurée par :

a) anodes en magnésium (dégradables) ;
b) anodes avec apport de courant (non dégradables).

Mise au point aux USA il y a plus de trente ans, cette méthode convient non seulement pour les chauffe-eau, mais aussi pour les conduites enterrées, les réservoirs métalliques, etc. Son principe consiste à munir l'acier de l'appareil à protéger (la cathode) d'une électrode (anode) en alliage de magnésium pour constituer ainsi une pile électrique, d'où l'expression « protection cathodique ».

Avec un chauffe-eau, l'anode est plongée dans l'eau. Etant donné la différence importante entre la tension du fer (-0,44 V) et celle du magnésium (-1.65 V), la protection du fer est assurée. Le fer « ennobli » reste intact, et le magnésium sacrifié se dissout.

2.6.4 Manteau extérieur – systèmes de carrossage

a) Carrosserie en matière synthétique (polystyrène antichoc)
Le manteau extérieur est en matière synthétique ; il est intimement lié à la cuve intérieure par de la mousse PU.

b) Carrosserie en tôle d'acier ou en aluman
Le manteau extérieur est en tôle d'acier thermolaquée / munie d'une peinture thermodurcissable ou en aluman. Les fonds inférieurs et supérieurs sont en polystyrène antichoc, en tôle d'acier ou en aluman.

c) Manteau extérieur en PVC
Le revêtement PVC est collé sur la mousse tendre PU elle-même appliquée contre la cuve intérieure. Généralement, ce type de chauffe-eau est isolé sur le chantier ; il concerne en principe des appareils d'une certaine taille.

2.6.5 Isolation thermique

a) Mousse dure de polyuréthanne
L'isolation thermique en mousse dure de polyuréthanne s'injecte entre la cuve intérieure et le manteau extérieur. Cette mousse remplit complètement le vide et, après durcissement, lie les deux parties pour en faire une structure autoporteuse grâce à sa force adhésive et sa stabilité.

b) Mousse tendre de polyuréthanne
L'isolation thermique en mousse de polyuréthanne s'utilise prémontée en usine sur des chauffe-eau de faible contenance ou posée sur site par l'installateur ou le fournisseur pour de gros appareils.

c) Coquilles en mousse dure de polyuréthanne
Les coquilles en mousse dure de polyuréthanne s'utilisent avec des appareils de grande taille, c'est-à-dire lorsque l'isolation thermique est mise en place sur le chantier par l'installateur.
Cette technique d'isolation thermique peut créer des « pertes par convection » (circulation d'air entre la cuve intérieure et l'isolation thermique) si l'application n'est pas exécutée dans les règles de l'art.

d) Matelas de laine de pierre ou de fibres de verre
Ce type d'isolation n'est plus usité pour des chauffe-eau isolés d'usine, mais s'utilise pour les gros chauffe-eau isolés sur site par un isoleur. Les matelas, généralement recouverts d'une feuille d'aluminium, sont ceinturés autour du réservoir et recouverts d'un manteau en aluman.

e) Coquilles en polystyrène
Est un développement récent pour faciliter le recyclage. Des coquilles en polystyrène entourent le réservoir ; elles sont recouvertes d'un manteau de tôle laquée, amovible. Les températures maximales prescrites ne doivent pas être dépassées pour ne pas endommager l'isolation.

f) Résine de mélamine
Ce tout nouveau matériau s'utilise pour les chauffe-eau sur pieds. L'isolant, très résistant à la température, extrêmement léger et facilement dissociable du manteau extérieur, est semi-rigide et s'enroule autour du réservoir.

Elimination
Il convient d'accorder une grande attention au problème de l'élimination. Les taxes d'élimination pour des déchets non triés – comme c'est déjà le cas pour les réfrigérateurs – peuvent également devenir réalité pour les chauffe-eau. La tendance est donc de produire des chauffe-eau dont les composants – c'est-à-dire le manteau et l'isolation thermique – sont dissociables, et si possible recyclables.

2.6.6 Pertes énergétiques des chauffe-eau / accumulateurs

2.6.6.1 Pertes énergétiques des chauffe-eau / accumulateurs de 30 à 200 l équipés d'une isolation thermique d'usine ou préfabriquée

Après l'entrée en vigueur de la loi sur l'énergie dans le canton de Berne en 1981 et de l'ordonnance visant une utilisation économe et rationnelle de l'énergie (OEn) en 1982, il est devenu obligatoire de vérifier les exigences requises en matière d'isolation. Le canton de Berne a introduit les mesures correspondantes pour réaliser les essais et l'homologation des chauffe-eau et des accumulateurs d'eau chaude. Le signe distinctif est + IP +.

Plusieurs cantons ont ensuite repris les exigences requises par le canton de Berne pour les ancrer dans leur législation.

L'Arrêté sur l'énergie (AE) du 14 décembre 1990 et l'ordonnance visant une utilisation économe et rationnelle de l'énergie (OEn) du 22 janvier 1992 prévoient une procédure d'expertise pour des appareils fabriqués en série.

La brochure *«Admission des chauffe-eau, réservoirs d'eau chaude et accumulateurs de chaleur»* du 7 juillet comprend :

– l'annexe 1 à l'ordonnance du 22 janvier 1992 ;
– l'ordonnance sur la procédure d'expertise énergétique des chauffe-eau, des réservoirs d'eau chaude et des accumulateurs de chaleur.

Principales indications de cette brochure :

Critères d'admission

Capacité nominale (litres)[1)]	Déperditions de chaleur maximales admissibles (kWh par 24 h)	Capacité nominale (litres)[1)]	Déperditions de chaleur maximales admissibles (kWh par 24 h)
30	0,75	1000	4,70
50	0,90	1100	4,80
100	1,30	1200	4,90
200	2,10	1300	5,00
300	2,60	1400	5,05
400	3,10	1500	5,10
500	3,50	1600	5,12
600	3,80	1700	5,14
700	4,10	1800	5,16
800	4,30	1900	5,18
900	4,50	2000	5,20

1) Pour les capacités intermédiaires, procéder à une extrapolation linéaire.

Ces valeurs s'appliquent à des installations n'ayant pas plus de deux conduites. Pour chaque conduite supplémentaire, les pertes de chaleur peuvent s'accroître au plus de 0,1 kWh par 24 h.

La mesure est soumise aux conditions suivantes :

a. température moyenne de l'eau : 65° C
b. température ambiante : 20° C
c. sans soutirage d'eau
d. capacité effective non inférieure à la capacité nominale

Entrée en vigueur et dispositions transitoires

L'ordonnance sur la procédure d'expertise énergétique de ces appareils est entrée en vigueur le 1er janvier 1994. Jusqu'au 1er août 1995, la liste de la Direction cantonale des transports, de l'énergie et de l'économie hydraulique (canton de Berne) fait référence pour les appareils ayant obtenus l'homologation du canton de Berne avant le 31 décembre 1993.

Les pertes énergétiques publiées, respectivement les pertes de puissance sont des valeurs de laboratoire. Pour des calculs, elles sont toutefois aussi précises que les hypothèses admises quant à la courbe de température dans le chauffe-eau. Il est en l'occurrence certain que les valeurs réelles sont inférieures aux valeurs mesurées en laboratoire.

Il est relativement facile d'expliquer pourquoi il en est ainsi :

1. L'essai s'effectue en mesurant la perte énergétique pour le volume complet d'un réservoir, c'est-à-dire y compris la zone d'eau froide et de mélange. Pour chaque spécialiste, il est d'emblée évident que la zone d'eau froide, c'est-à-dire l'eau située au-dessous de l'élément chauffant pour un chauffe-eau sur pieds, n'est pas totalement chauffée et ne peut donc pas provoquer autant de pertes énergétiques.
2. Une deuxième raison réside dans le fait qu'aucun chauffe-eau ne peut être maintenu pendant 24 heures à 60° C sans soutirer de l'eau chaude. Il en résulte une fois encore que les pertes énergétiques théoriques mesurées sont nettement supérieures aux pertes pratiques effectives.

Normalement, le premier soutirage d'eau chaude s'effectue au plus tard le matin ; le volume d'eau chaude dans le chauffe-eau diminue, le volume d'eau froide augmente, et il ne peut logiquement pas se produire de pertes énergétiques dans la zone d'eau froide.

Pour déterminer les besoins en eau chaude et procéder à un calcul exact des pertes énergétiques, de nombreux autres facteurs d'influence entrent en ligne de compte, à savoir par exemple le circuit des utilisateurs, les habitudes de vie, la température de l'eau chaude, la température ambiante, etc.

Les pertes énergétiques (pertes stationnaires) de la plupart des chauffe-eau se situent au-dessous des valeurs maximales admissibles exigées par l'Office fédéral de l'énergie.

2.6.6.2 Chauffe-eau, accumulateurs d'eau chaude et accumulateurs de chaleur calorifugés sur place

Il n'y a pas d'exigence fédérale. Les exigences cantonales peuvent être regroupées comme suit:

Pour des chauffe-eau, accumulateurs d'eau chaude et accumulateurs de chaleur calorifugés sur place et fonctionnant avec des températures de service inférieures à 100° C, on ne descendra pas au-dessous des épaisseurs indiquées ci-après. Le couvercle du trou d'homme et la flasque du registre de chauffage seront munis de la même épaisseur d'isolation que le réservoir lui-même.

Contenance en litres	Epaisseur minimale de laine minérale en mm
jusqu'à 400	100
> 400 jusqu'à et yc 2000	120
> 2000	160

2.6.7 Corps de chauffe pour chauffe-eau

Pour les chauffe-eau électriques, on distingue aujourd'hui quatre variantes:

- corps de chauffe tubulaire (thermoplongeur);
- corps de chauffe en céramique dans tube plongeur;
- chauffage par l'extérieur;
- chauffage indirect.

a) Corps de chauffe blindé

Le corps de chauffe tubulaire a été mis au point dans les années 30. A l'époque, il présentait une section ovale aplatie et comportait 2 à 3 conducteurs chauffants noyés ainsi qu'un raccordement à une extrémité. Ces barres chauffantes s'utilisaient surtout dans les machines à laver, les grilloirs, les armoires chauffantes, les chauffages électriques ainsi que dans les laboratoires chimiques comme thermoplongeurs. Quelques années plus tard, les barres chauffantes rondes, avec diamètre d'environ 6,5 et 8,5 mm, ont fait leur apparition.

La spirale chauffante est noyée dans de l'oxyde de magnésium très pur à haute densité (Mg O), avec les caractéristiques suivantes:

- isolation électrique par rapport au manteau tubulaire;
- pas d'apport d'oxygène;
- pas d'oxydation du conducteur chauffant;
- remarquable transmission de la chaleur du conducteur chauffant au manteau tubulaire par le Mg O.

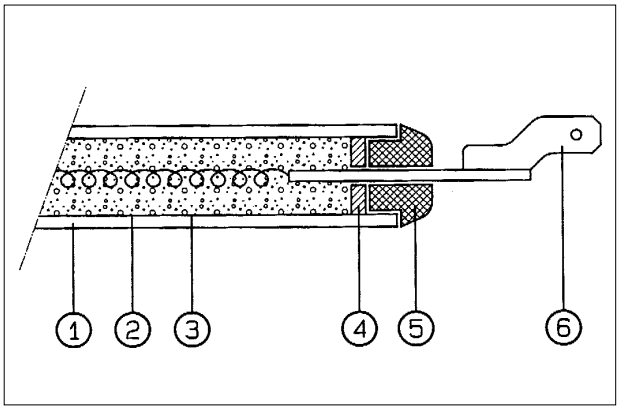


Figure 2.6.7.1: Coupe d'un corps de chauffe blindé.

Avantages

- Moins de dépôt de calcaire en raison de la dilatation de la barre chauffante blindée lors du chauffage et de son retrait subséquent lors du refroidissement.
- La barre chauffante blindée présente une faible masse, et une convection n'est pas possible entre le conducteur chauffant et le manteau tubulaire; la chaleur produite est donc directement transmise à l'eau

– Flasque de plus petite surface que celle d'un corps de chauffe en céramique et donc pertes énergétiques plus faibles.
– Par sa construction, la barre chauffante blindée présente une bonne capacité de flexion à froid, ce qui permet d'adapter sa forme à celle du fond du chauffe-eau et de réduire ainsi la zone d'eau froide et de mélange.

Inconvénients :

– La charge élevée peut provoquer du bruit pendant les phases de réchauffage de l'eau.
– Il est nécessaire de vider le réservoir pour remplacer le corps de chauffe.

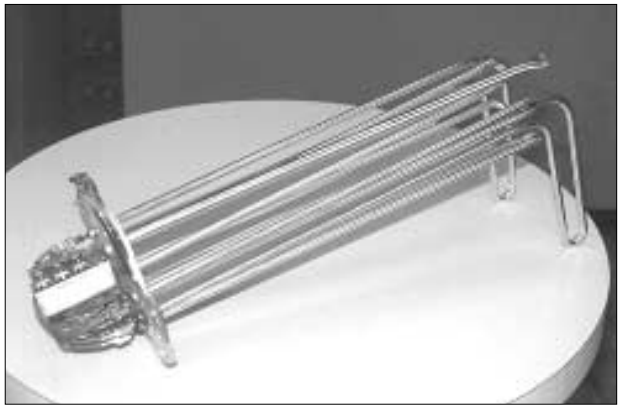


Figure 2.6.7.2 : Corps de chauffe blindé.

b) Corps de chauffe en céramique dans tube plongeur

Le corps de chauffe en céramique dans tube plongeur a été mis au point au tournant du siècle. Munis de gorges, plusieurs éléments en céramique d'une longueur d'environ 50 mm sont juxtaposés et les résistances spiralées sont tirées dans les gorges. Un tirant en acier résistant à la chaleur assure la tenue du tout. Le corps de chauffe en céramique ainsi constitué est introduit dans un tube de protection dont le diamètre est d'environ 2 mm supérieur à celui du corps en céramique. Ce tube de protection est à son tour soudé ou mandriné sur une flasque.

L'ensemble du corps de chauffe présente par conséquent une masse relativement importante et donc une inertie supérieure à celle d'un corps de chauffe blindé. La chaleur produite par la spirale chauffante chauffe l'air se trouvant dans le tube de protection, respectivement l'eau par l'intermédiaire de ce même tube.

Avantages

– Pour les raisons susmentionnées, les surfaces chauffantes sont plus importantes, ce qui signifie qu'il faut généralement plusieurs tubes plongeurs. Grâce à la charge relativement faible, le chauffage n'est pas lié à l'émission de bruits.
– L'architecture de ce corps de chauffe permet de retirer facilement une garniture en céramique défectueuse du tube plongeur sans qu'il soit nécessaire de vider le chauffe-eau.
– Flasque de plus grande surface facilitant les travaux d'entretien.

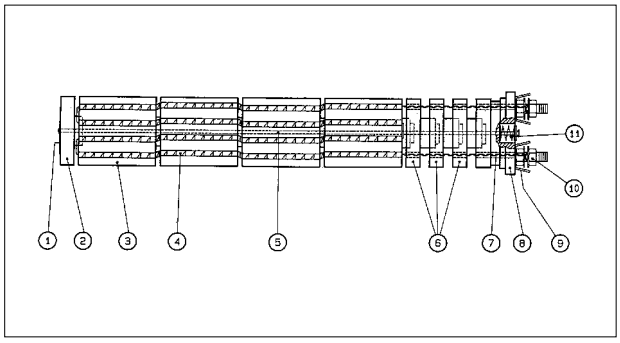


Figure 2.6.7.3 : Coupe d'un corps de chauffe en céramique.

Inconvénients

– Etant donné la faible charge superficielle, le tartre qui se dépose sur le tube plongeur ne peut pas se détacher de lui-même comme avec un élément chauffant blindé et provoque donc la formation d'une gangue de calcaire autour du tube.
– Si la surface du tube est entartrée, la transmission de la chaleur du tube à l'eau s'effectue moins bien et l'air se trouvant dans le tube devient surchauffé. Il en résulte une convection plus importante à l'intérieur du tube et une augmentation des pertes thermiques par le capot de recouvrement.
– La plus petite charge spécifique des corps de chauffe en céramique et leur pose dans des tubes plongeurs nécessitent une flasque plus grande qui provoque des pertes thermiques

plus importantes, et cela malgré l'isolation du corps en céramique à l'extrémité de la flasque.

– Zone d'eau froide plus importante, car il n'est pas possible d'adapter à la perfection la forme de l'élément à celle d'un chauffe-eau sur pieds ou encastrables.

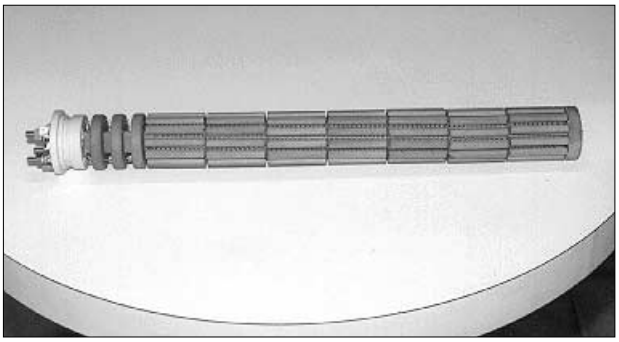


Figure 2.6.7.4 : Corps de chauffe en céramique.

c) Chauffage par l'extérieur
Par « corps de chauffe extérieur », on comprend par exemple des feuilles chauffantes, des corps de chauffe cylindriques à base de micanite, des plaques d'aluminium ou des corps de chauffe tubulaires coulés, fixés contre la paroi extérieure de la cuve du chauffe-eau par des colliers de serrage.

Par rapport aux problèmes de corrosion, un chauffage extérieur du chauffe-eau pourrait être considéré comme une solution optimale.

Une mauvaise transmission de la chaleur, des pertes thermiques plus importantes ainsi que des dépenses élevées en cas de remplacement d'un corps de chauffe défectueux n'ont toutefois pas permis jusqu'ici à ce mode de chauffage de faire une percée sur le marché.

d) Chauffage indirect
Par chauffage indirect, on comprend par exemple une chaudière électrique « sanitaire » pour le réchauffage d'un gros accumulateur par l'intermédiaire d'un circuit externe et d'un circulateur de charge.

2.6.8 Régulation de la température

Conformément aux prescriptions en vigueur, tous les thermostats des batteries électriques doivent être équipés d'une double sécurité contre la surchauffe. Selon les prescriptions de l'ASE, la deuxième sécurité doit être active sur toutes les phases. Les types de thermostat les plus courants sont les suivants :

a) Thermostat à double sécurité avec sonde à tige rigide (230/400 V).

b) Thermostat à double sécurité avec sondes à tube capillaire (230/400/3x400 V).

Thermostat pour commande de pompes, moteurs

a) Thermostat simple avec sonde à tube capillaire.

b) Thermostat d'applique.

2.6.9 Problèmes de corrosion sur les corps de chauffe

Au fil des ans, la composition de l'eau s'est dégradée, ce qui se traduit notamment par des effets négatifs sur la résistance à la corrosion des appareils. Les corps de chauffe sont donc particulièrement exposés puisque le calcaire, en combinaison avec les autres traces d'éléments tels que chlorures, nitrates, etc., ainsi que la rouille provenant des conduites d'alimentation corrodées, se dépose principalement dans la zone des éléments chauffants. Les principaux types de corrosion d'aciers inoxydables sont les suivants :

a) Corrosion générale :
On parle de « corrosion générale » lorsque toute la surface de l'acier est attaquée uniformément.

b) Corrosion intercristalline :
Lorsqu'une attaque suit la limite des grains de la structure, on parle de « corrosion intercristalline », de « corrosion intergranulaire » ou de « décomposition des grains ». Elle est souvent due à un surréchauffement de la matière.

c) Corrosion localisée :
On parle de « corrosion localisée » lorsque l'extension de l'attaque est limitée en surface, mais souvent assez profonde.

d) Corrosion fissurante due à la contrainte :
On parle de « corrosion fissurante due à la contrainte » lorsque des fissures se forment dans l'acier par l'action conjuguée de contraintes de traction et d'une attaque électrochimique.

e) Corrosion en fissures :
Par « corrosion en fissures », on entend les attaques localisées qui se traduisent par d'étroites fissures consécutivement à une réduction de l'apport en oxygène et l'absence de renouvellement de la couche passive.

f) Corrosion galvanique ou par contact :
Lorsqu'un acier entre en contact avec un métal plus noble dans un électrolyte (par exemple l'eau), on désigne l'attaque ainsi provoquée de « corrosion galvanique ».

g) Corrosion par formation de piqûres (pitting)
Cette corrosion très localisée, mais profonde et auto-entretenue, est provoquée par le présence de chlorures. Elle est plutôt rare au-dessous de 60° C. La sensibilité augmente cependant avec la température.

Le nickel est l'élément de l'alliage qui réduit le plus fortement la sensibilité à ce dernier type de corrosion. Pour prévenir complètement cette corrosion, une teneur en nickel de 40% au minimum est nécessaire.

Sur la base de ce qui précède, il est important d'accorder une très grande attention au choix des matériaux destinés aux corps de chauffe d'un chauffe-eau.

2.7 Choix du système

2.7.1 Critères de sélection

Le choix des appareils dépend directement de l'énergie disponible et des vecteurs énergétiques pouvant entrer en ligne de compte.

Les appareils peuvent être chauffés directement ou indirectement.

Un chauffage direct signifie ceci :
L'appareil est chauffé directement par une source d'énergie thermique (par exemple batterie électrique incorporée à l'appareil, brûleur à gaz incorporé à l'appareil, brûleur à mazout fixé à l'appareil, etc.).

Un chauffage indirect signifie ceci :
L'appareil est chauffé par un fluide caloporteur lui-même chauffé par un vecteur énergétique dans un générateur de chaleur séparé (par exemple chaudière à gaz, chaudière à mazout, capteurs solaires, pompe à chaleur, chauffage à distance, etc.).

2.7.2 Sources d'énergie thermique

Par source d'énergie thermique, on entend des combustibles solides, liquides et gazeux ainsi que l'électricité et l'énergie solaire qui libèrent de la chaleur par conversion énergétique – dans notre cas, pour chauffer de l'eau potable ou un vecteur énergétique.

2.7.3 Disponibilité

La disponibilité de l'énergie dépend surtout de son mode d'extraction et de distribution :

Des combustibles tels que le bois, le charbon, le mazout et le gaz liquéfié sont généralement stockés par l'utilisateur final pendant un certain laps de temps ou même pour toute une saison. La disponibilité reste donc au moins la même sur 24 heures, et les heures de consommation peuvent être librement choisies en fonction des besoins de l'utilisateur.

Le gaz naturel, énergie liée à des conduites de distribution, est souvent soumis à des limites de capacité lors des pointes hivernales. Pour l'utilisateur domestique et industriel, la livraison régulière sur 24 heures aux mêmes conditions est cependant garantie. Lors des pointes, les gros consommateurs industriels doivent par contre opter pour d'autres formes d'énergie (par exemple mazout).

L'énergie solaire ne peut être stockée que dans une mesure très limitée (registre terrestre ou gros accumulateur d'eau chaude). Sous nos latitudes, elle convient pour la préparation d'eau chaude, mais peut également fournir une contribution importante au chauffage de locaux à condition de l'exploiter ingénieusement.

L'électricité ne peut guère être stockée par l'utilisateur lui-même. Les usines peuvent réaliser un équilibre saisonnier limité, moyennant des lacs d'accumulation. Comme les centrales thermiques et hydro-électriques au fil de l'eau fournissent de l'énergie 24 heures sur 24 et pour ainsi dire presque toute l'année, la consommation non liée à un horaire fixe sera déplacée aux heures de faible charge.

La chaleur perdue est une forme d'énergie qui existe très souvent. On examinera dans chaque cas l'opportunité d'exploiter la chaleur perdue provenant de processus frigorifiques, d'eaux usées, d'air vicié évacué, etc. La chaleur perdue avec haut niveau de température convient parfaitement pour contribuer à l'exploitation (préchauffage) d'installations d'eau chaude.

Pour la préparation d'eau chaude, les combustibles solides n'entrent en ligne de compte qu'indirectement, en combinaison avec le chauffage.

Teneur énergétique		Valeur calorifique brute	Valeur calorifique nette	
Propane	C3H8	100,9	92,91	en MJ/m^3
Butane (i)	C4H10	133,86	123,86	en MJ/m^3
Gaz nat. "h"	CH4	38,5-47,3	37,4-42,6	en MJ/m^3
Bois, sec		~ 14,7		en MJ/kg
Mazout EL		> = 42		en MJ/kg
Charbon anthracite		29,31-33,40		en MJ/kg
Energie solaire		100 W jusq. 1		KW/m^2

Tableau 2.7.3.1 : Sources d'énergie thermique.

2.7.4 Coûts des sources d'énergie thermique

Dans le secteur des coûts, on constate d'une part des différences tarifaires très importantes entre les différents fournisseurs d'énergie, alors que la spirale du renchérissement et la politique économique internationale provoquent d'autre part des fluctuations permanentes des prix.

Dans un cas concret, on se renseignera sur les prix du jour appliqués par les fournisseurs d'énergie entrant en ligne de compte, à savoir par exemple usines électriques, distributeurs de gaz, marchands de mazout, de charbon et de bois, etc.

Pour procéder à des calculs comparatifs, il faut donc s'informer sur les prix des sources d'énergie concernées et calculer avec ceux-ci.

2.7.5 Vecteurs d'énergie thermique (ou caloporteurs)

Les vecteurs d'énergie thermique sont des agents liquides ou gazeux qui cèdent leur chaleur à un agent plus froid (par exemple eau potable) par transmission de chaleur via les surfaces d'un échangeur de chaleur.

a) Vecteurs liquides

Parmi ceux-ci, on mentionnera :

– Eau de chauffage avec des températures allant jusqu'à 110° C, avec capacité calorifique d'environ 1,16 Wh par kg et K.

– Eau surchauffée avec des températures supérieures à 110° C pour une pression correspondante, avec capacité calorifique d'environ 1,16 Wh par kg et K.

– Condensat, analogue à l'eau de chauffage ou à l'eau surchauffée en fonction de la température et de la pression.

– Huile thermique.

b) Vecteurs gazeux

– Air chaud.

– Gaz d'échappement.

– Gaz chauds émis par des machines frigorifiques.

– Vapeur d'eau, saturée, à basse ou moyenne pression.

– Vapeur d'eau, surchauffée.

Facteurs déterminants pour l'exploitation de la chaleur :

– Température des agents gazeux.

– Débit à une pression donnée.

– Chaleur spécifique en Wh par m^3 et K.

3. Systèmes de distribution d'eau chaude

3.1	Exigences générales requises	53
3.1.1	Finalité	53
3.1.2	Exigences hydrauliques	53
3.1.3	Exigences thermiques et techniques	53
3.1.4	Exigences des consommateurs	53
3.2	Descriptif des systèmes	53
3.2.1	Généralités	53
3.2.2	Système à conduites individuelles	53
3.2.3	Conduites de distribution sans circulation	55
3.2.4	Conduites de distribution avec circulation	55
3.2.5	Chauffage électrique parallèle (ruban chauffant)	56
3.2.6	Postchauffage externe de la circulation	57
3.2.7	Système de circulation tube-contre-tube	58
3.2.8	Conduites individuelles ou circulation ?	58
3.3	Mesures	59
3.3.1	Généralités	59
3.3.2	Prescriptions en matière de décompte individuel	59
3.3.3	Décompte	60
3.4	Sélection du système	61
3.4.1	Généralités	61
3.4.2	Mode de chauffage de l'eau	61
3.4.3	Emplacement du chauffe-eau	61
3.4.4	Emplacement du compteur d'eau	61
3.4.5	Composition de l'eau	62
3.5	Pertes énergétiques	62
3.5.1	Pertes thermiques	62
3.5.2	Perturbation de la stratification	62
3.5.3	Circulation	63
3.5.4	Ruban chauffant	65
3.5.5	Conduites d'alimentation	65

3. Systèmes de distribution d'eau chaude

3.1 Exigences générales requises

3.1.1 Finalité

Les conduites de distribution ont pour tâche de transporter l'eau chaude accumulée dans le chauffe-eau vers tous les points de soutirage, et cela:
- en quantité suffisante dans les limites des pertes de pression maximales admissibles;
- à une température suffisante, c'est-à-dire avec de faibles pertes thermiques.

3.1.2 Exigences hydrauliques

Celles-ci seront satisfaites comme suit:
- détermination du diamètre des conduites (selon W3 1992) compte tenu des débits de pointe, des pertes de pression admissibles et du facteur de simultanéité;
- choix du système de distribution;
- disposition rationnelle des conduites (pas de détours).

3.1.3 Exigences thermiques et techniques

Celles-ci seront satisfaites comme suit:
- choix du système de distribution;
- disposition rationnelle des conduites (pas de détours);
- bonne isolation thermique des conduites;
- température optimale de l'eau chaude en fonction de son usage;
- commande et régulation;
- interruption automatique de la circulation selon ordonnances sur l'énergie;
- différence de température appropriée entre l'aller et le retour pour systèmes avec circulation.

3.1.4 Exigences des consommateurs

Le consommateur doit disposer de la quantité d'eau chaude qui lui est nécessaire. Cette eau chaude devrait arriver rapidement dès l'ouverture d'un robinet. On améliore ainsi le confort d'utilisation et limite le gaspillage d'eau.

On verra dans ce chapitre comment répondre concrètement aux exigences requises.

3.2 Descriptif des systèmes

3.2.1 Généralités

On distingue en principe les systèmes de distribution d'eau chaude suivants:
- systèmes à conduites individuelles;
- conduites de distribution sans circulation;
- conduites de distribution avec circulation;
- distribution avec chauffage parallèle (ruban chauffant électrique);
- système tube-contre-tube.

3.2.2 Système à conduites individuelles

Raccordement de chaque point de soutirage d'eau chaude par une conduite individuelle à partir de la sortie du chauffe-eau ou de la conduite d'eau chaude maintenue chaude (circulation ou ruban chauffant). L'eau chaude coule dans les conduites individuelles uniquement à l'ouverture du robinet correspondant.

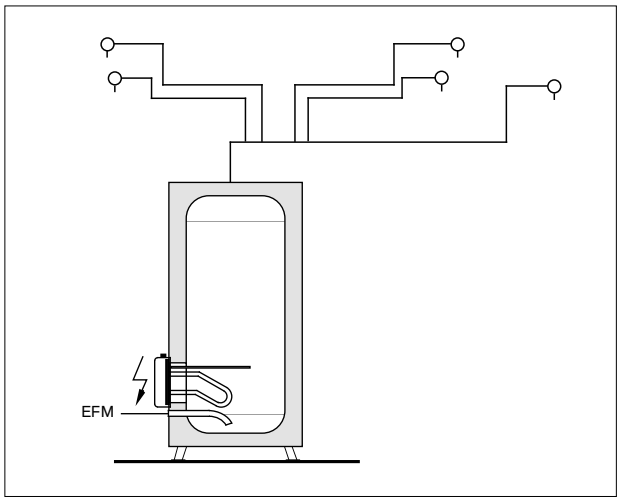


Figure 3.2.2.1: Système typique à conduites individuelles pour villas familiales.

Après le soutirage, le tronçon de conduite individuelle concerné se refroidit. En cas de nouveau soutirage, il s'écoule donc tout d'abord de l'eau froide avant que le robinet délivre de l'eau chaude. Les pertes qui en résultent sont dénommées pertes de soutirage (volume d'eau froide non utilisé).

Elles dépendent de
- diamètre, matériau, isolation et longueur de la conduite;
- nombre de soutirages par jour;
- intervalles de temps entre les soutirages.

En ce qui concerne l'isolation thermique, la fréquence d'utilisation joue un rôle. Pour des conduites domestiques qui ne sont utilisées que périodiquement (cuisine, salle de bains), une isolation thermique est peu utile.

Pour des conduites individuelles de cuisines professionnelles et douches collectives, une isolation thermique peut se révéler judicieuse en raison des fréquences d'utilisation élevées et de l'importance des soutirages.

Domaine d'application du système à conduites individuelles
Le système des conduites individuelles s'est largement imposé pour les villas familiales et les distributions d'appartement dans les locatifs. Il est toutefois limité par des barrières économiques et psychologiques du fait des pertes de soutirage et des délais d'attente à observer jusqu'à ce que l'eau coule à la température désirée. On ne peut pas indiquer ici de valeurs fixes, mais uniquement des valeurs indicatives qui seront interprétées comme telles (voir tableau).

On rappellera ici une erreur encore très fréquente, à savoir un distributeur de conduites individuelles surdimensionné et situé trop loin du chauffe-eau.

Les conduites individuelles seront raccordées le plus près possible de la sortie du chauffe-eau. La section entre la sortie du chauffe-eau et le distributeur (qu'il s'agisse de raccords en T ou de blocs de distribution préfabriqués) sera aussi courte que possible et isolée par une couche d'au moins 40 mm d'épaisseur, sans quoi il se produira des pertes thermiques et de soutirage qui atténueront considérablement les avantages du système à conduites individuelles.

Valeurs indicatives pour le domaine d'application de conduites individuelles								
Prises d'eau	Unités de raccordement	Diamètre des conduites			Volume l/m			Temps de soutirage admissible environ s SIA 385/3
		Fe	Cu	VPE	Fe	Cu	VPE	
Lavabo, bidet	1	1/2"	10/12	16	0,201	0,079	0,100	10
Evier (Cu -6 m / VPE -12 m)	2	1/2"	10/12	16	0,201	0,079	0,100	7
Evier (Cu dès 6 m / VPE dès 12 m)	2	1/2"	13/15	20	0,201	0,132	0,180	7
Douche à débit moyen (VPE -8 m)	3	1/2"	13/15	16	0,201	0,132	0,100	10
Robinetterie de bain (VPE -5 m)	4	1/2"	13/15	16	0,201	0,132	0,100	15-20
Robinetterie de bain (VPE dès 5 m)	4	1/2"	13/15	20	0,201	0,132	0,180	15-20
Douche à grand débit 3/4"	8	3/4"	16/18	20	0,366	0,201	0,180	10

Tableau 3.2.2.2: Valeurs indicatives pour conduites individuelles.

3.2.3 Conduites de distribution sans circulation

Conduite de distribution collective dérivée pour deux ou plusieurs prises d'eau chaude. Ce genre de distribution est recommandé lorsque la longueur des conduites jusqu'aux prises d'eau n'est pas trop importante et n'implique pas de longs délais d'attente ou lorsque les soutirages sont permanents ou fréquents (par exemple établissements industriels, installations de douches collectives, installations de lavage).

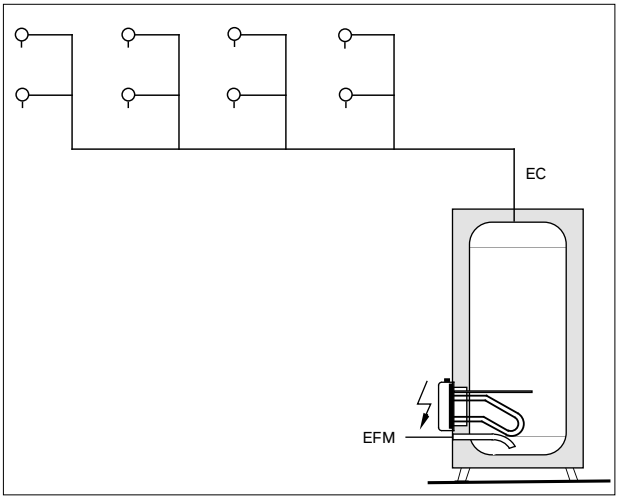


Figure 3.2.3.1 : Distribution sans circulation.

3.2.4 Conduites de distribution avec circulation

Conduite de distribution dérivée pour alimentation en eau chaude de groupes complets de prises d'eau. L'eau non soutirée est recirculée vers l'accumulateur.

On distingue les variantes suivantes :

Système de circulation avec distribution inférieure

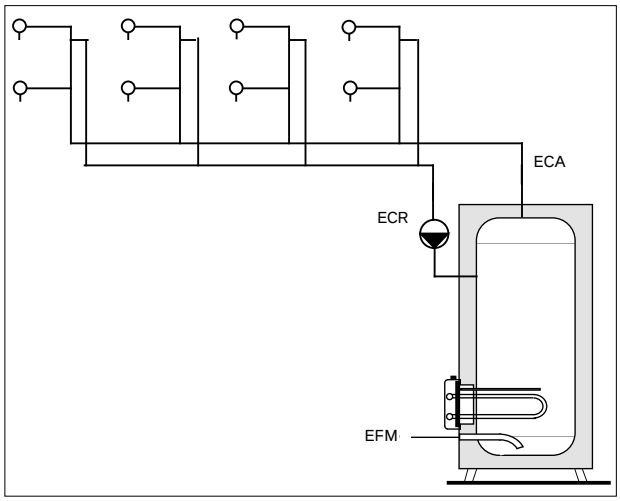


Figure 3.2.4.1 : Système de circulation avec distribution inférieure.

Système de circulation avec distribution supérieure

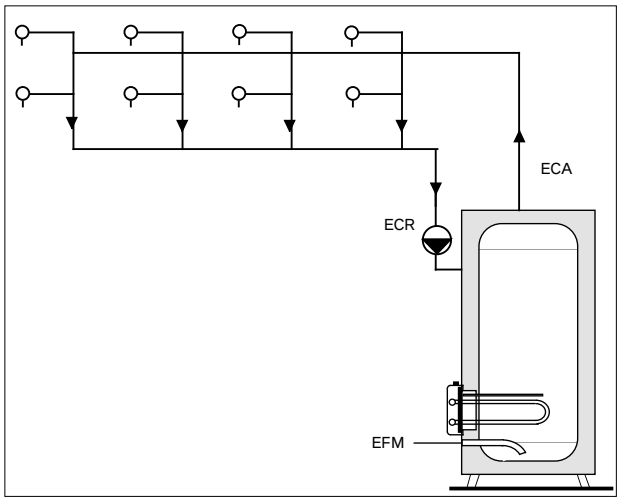


Figure 3.2.4.2 : Système de circulation avec distribution supérieure.

Système combiné avec conduites individuelles et circulation ; prises d'eau alimentées par des conduites individuelles à partir de la conduite d'eau chaude avec circulation.

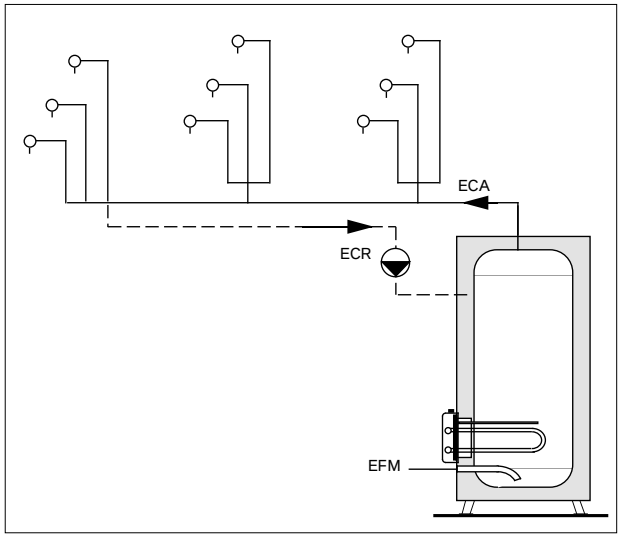


Figure 3.2.4.3 : Système combiné.

Circulation par gravité
Aujourd'hui, on rencontre encore des circulations par gravité dans des installations réalisées il y a plus de 30 ans. La différence de température entre la sortie du chauffe-eau et l'entrée de l'eau recirculée dans celui-ci peut être de 5 à 10° C.

Cette différence de température entraîne une perturbation de la stratification dans les accumulateurs. La vitesse d'écoulement est en outre trop faible et peut entraîner des problèmes de corrosion.

De telles installations ne nécessitent pas de pompe de circulation ; elles sont toutefois surdimensionnées et présentent par conséquent des pertes thermiques importantes.

Circulation assistée par pompage
La circulation assistée par pompage représente une bonne solution pour de moyennes et grosses installations. Pour de gros objets, un calcul des pertes thermiques, des débits, des hauteurs de refoulement et des pertes de charge est absolument indispensable.

Mesures d'économie – priorités pour le système de circulation
On critique souvent les circulations sous prétexte qu'elles gaspillent de l'énergie. Cette impression négative résulte de l'observation de nombreuses installations inadaptées, à savoir diamètre trop important des conduites, tracé irrationnel des conduites, températures trop élevées, mauvaise introduction de l'eau recirculée dans l'accumulateur d'eau chaude, mauvaise fonction de circulation et surtout isolation thermique totalement insuffisante ou absente.

Par contre, si le système de circulation est techniquement exécuté dans les règles de l'art, les pertes énergétiques seront réduites à une mesure raisonnable.

Interruption de la circulation
L'interruption de la circulation permet d'économiser de l'énergie. En l'occurrence, la circulation devrait être interrompue pendant un certain temps au moyen d'un organe d'arrêt automatique (dans le canton de Berne, minimum 8 heures d'arrêt obligatoire). Après interruption de la circulation, l'eau chaude se refroidit pour autant qu'on n'en soutire pas pendant la durée de l'interruption de la circulation. Lors de la remise en service de la pompe de circulation, l'eau refroidie est ramenée dans le chauffe-eau où elle peut provoquer un abaissement correspondant de la température. La circulation devrait être remise en marche encore pendant la phase de chauffage ou subir un réchauffage extérieur à l'accumulateur.

3.2.5 Chauffage électrique parallèle (ruban chauffant)

Principe du ruban chauffant
Avec ce système, les pertes thermiques des conduites de distribution sont compensées par un ruban chauffant électrique. Le transfert thermique à partir du chauffe-eau ne s'opère qu'en cas de soutirage d'eau chaude. Dans ce cas, il n'y a pas de conduite de circulation.

Structure du ruban chauffant
Un ruban chauffant autorégulateur se compose d'un ruban synthétique semi-conducteur dans lequel sont noyés parallèlement deux fils de cuivre

distants de 5 – 15 mm. La matière synthétique semi-conductrice forme l'élément chauffant, et les fils de cuivre parallèles servent de conducteurs électriques. L'élément chauffant est isolé électriquement par un manteau thermoplastique et une tresse de cuivre étamée. Cette tresse sert de mise à la terre du ruban chauffant ; elle garantit une protection irréprochable des personnes et fait simultanément office de protection mécanique.

Autorégulation
Le ruban synthétique semi-conducteur forme l'élément chauffant. Il se compose d'un polymère spécial chargé de graphite. La proportion et la répartition du graphite déterminent la résistance électrique. Lorsque la température augmente, la résistance augmente jusqu'à un maximum voisin de celle d'un isolant, à partir duquel le ruban ne chauffe pratiquement plus.

Pour des installations d'alimentation en eau chaude, il existe différents produits :

– rubans chauffants avec température de maintien fixe (par exemple 45 + 55° C) ;
– rubans chauffants avec température de maintien variable (régulateur de puissance avec commande pulsante économe en énergie).

Mode de fonctionnement
A chaque point de sa surface, la puissance calorifique du ruban chauffant s'adapte aux conditions locales. Lorsqu'on ne soutire pas d'eau et que la conduite commence à refroidir, la puissance du ruban chauffant augmente en raison de la modification de sa résistance électrique. Il s'établit un état d'équilibre qui, en fonction du dimensionnement, se situe à environ 3 à 5° C au-dessous de la température du chauffe-eau. Lorsqu'on soutire de l'eau chaude, cette eau de l'accumulateur légèrement plus chaude fait augmenter la résistance du ruban chauffant et diminuer la puissance calorifique.

Besoins énergétiques
Pour une conduite munie d'une isolation thermique avec coefficient k de 0,34 W/mK et une température ambiante de 12° C, la puissance absorbée par un ruban chauffant avec température de maintien de 55° C est de 9,2 W/m. On ne couvre ainsi que les pertes par refroidissement.

Des mesures de consommation ont révélé qu'avec un ruban chauffant, la dépense énergétique est beaucoup plus faible qu'avec une circulation assistée par pompage, et cela surtout parce que la pompe et la double conduite (retour) impliquent une importante dépense supplémentaire d'énergie.

Cette remarque n'est toutefois valable que pour des systèmes avec lesquels les pertes thermiques doivent de toute manière être couvertes par de l'énergie électrique (chauffe-eau électriques).

En utilisant des énergies fossiles telles que mazout ou gaz ou une PAC, il convient de pondérer la différence en tenant compte de la consommation d'énergie primaire.

3.2.6 Postchauffage externe de la circulation

Si l'on ne peut renoncer à une circulation avec des chauffe-eau électriques, celle-ci peut faire l'objet d'un postchauffage externe.

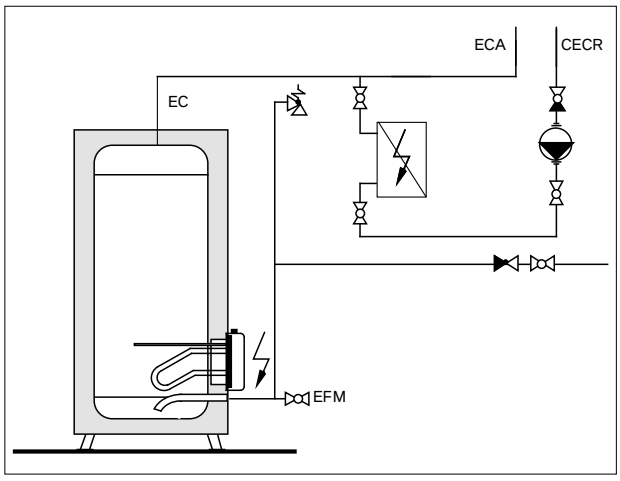


Figure 3.2.6.1 : Postchauffage externe de la circulation.

Cette solution convient particulièrement bien dans les cas suivants :

– assainissement d'installations existantes dont les conduites ne sont pas accessibles pour procéder à la pose d'un ruban chauffant ;
– lorsque de la chaleur est de toute manière disponible (chaleur perdue, chauffage, etc.).

3.2.7 Système de circulation tube-contre-tube

Le système de circulation tube-contre-tube a été lancé en 1984. Cette variante de système de circulation, économe en énergie, est utilisé dans quelques régions de Suisse.

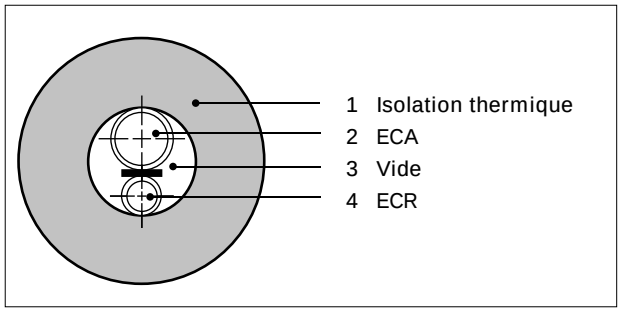


Figure 3.2.7.1 : Système tube-contre-tube.

Le principe consiste à monter la conduite de circulation parallèlement à l'aller d'eau chaude. Le tracé très resserré des deux conduites permet d'exécuter l'isolation avec une seule coquille. Extérieurement, on a l'impression qu'il n'existe qu'une seule conduite.

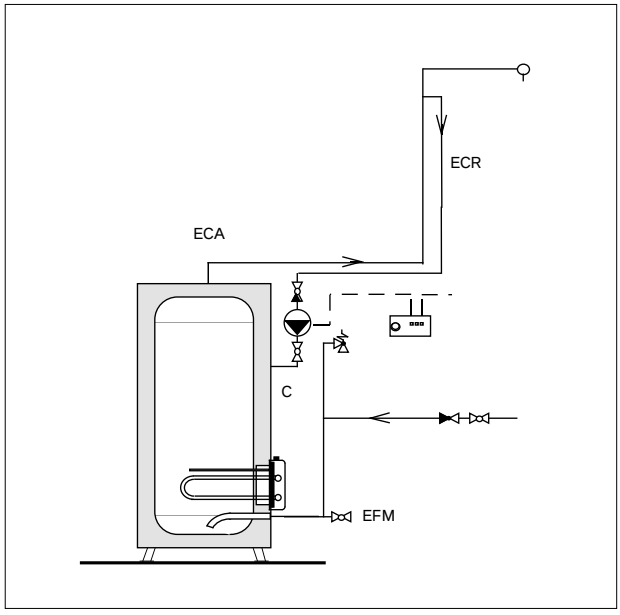


Figure 3.2.7.2 : Installation avec système tube-contre-tube.

3.2.8 Conduites individuelles ou circulation ?

La question se pose effectivement pour de nombreuses villas familiales. Dans un cas concret, la réponse doit se baser sur une comparaison soigneusement étudiée.

La situation des prises d'eau dans le bâtiment et leur distance par rapport au chauffe-eau joue un rôle déterminant.

Si les locaux sanitaires sont concentrés au rez-de-chaussée, directement au-dessus du chauffe-eau installé au sous-sol, la solution des conduites individuelles est nettement préférable.

Si les locaux sanitaires sont décentralisés, ce qui est généralement le cas, la réponse n'est pas aussi simple qu'on pourrait le croire. Avec une conduite de circulation correctement dimensionnée, une limitation de la température et une isolation efficace, les pertes thermiques de la circulation sont relativement faibles. Avec les chauffe-eau à accumulation, l'aspect technique (perturbation de la stratification) représente un autre paramètre important qui peut influencer positivement la décision de renoncer à une circulation :

Avec un chauffe-eau électrique chauffé de nuit couvrant les besoins journaliers, on renoncera à une circulation.

Si l'on dispose cependant en permanence d'énergie, la décision dépendra aussi largement de réflexions économiques ou de la mise en valeur de l'énergie.

3.3 Mesures

3.3.1 Généralités

Avec l'entrée en vigueur du décompte individuel des frais de chauffage et d'eau chaude DIFC, on vise 3 objectifs principaux:

1. Economiser l'énergie en vue de contribuer à la protection de l'environnement et ménager les ressources.
2. Décompte plus équitable basé sur le principe de la causalité.
3. Information des locataires moyennant une meilleure transparence du décompte.

A titre d'exemple!
Dans le canton de Vaud, des mesures de consommation d'eau chaude ont été effectuées dans approximativement 28 000 appartements. On a constaté que:

– 75% environ de l'eau chaude est consommée par une moitié des appartements.
– La part de 25% des locataires économes paie jusqu'à 7 fois trop pour sa consommation d'eau chaude.

Conclusion:
Il n'est guère possible d'émettre des pronostics quant à d'éventuelles économies d'énergie. Contrairement au chauffage, les habitudes personnelles de confort figurent au premier plan en ce qui concerne la consommation d'eau chaude.

La consommation d'énergie peut être réduite si les distributions d'eau chaude sont conçues d'une manière optimale. En l'occurrence, les conditions suivantes doivent être remplies:

– Confort: température régulière, débit raisonnable, délai d'attente aussi court que possible.
– Technique: dépense énergétique minimale, pas de dommages par la corrosion.
– Rentabilité: coûts totaux minimes, amortissement par les mesures d'économie d'énergie.

Il existe malheureusement encore des systèmes par gravité avec des températures de chauffe-eau trop élevées. Les systèmes à circulation assistée par pompage surdimensionnés ou non régulés sont eux aussi de véritables «gaspilleurs d'énergie».

Objectifs:

Etude:
Disposition concentrée des «salles d'eau» dans les immeubles (juxtaposition ou superposition).

Disposition:
«Transport à froid de l'énergie», c'est-à-dire préchauffage central de 10°C à 45°C par exemple et postchauffage décentralisé auprès des consommateurs individuels dans un immeuble commercial.

Exécution:
Systèmes de distribution d'eau chaude bien isolés et bien régulés, décompte individuel des dépenses énergétiques.

Utilisation:
Amener le consommateur à «économiser l'énergie», c'est-à-dire:
– Contrôle des anciennes habitudes, y compris discussion en famille (facteur d'éducation).
– Se doucher au lieu de prendre un bain (consommation d'énergie en pleine connaissance de cause).
– Entretien de l'installation, par exemple détartrage, robinetterie moderne.
– Meilleure isolation thermique des installations de distribution d'eau chaude.
– Déclenchement du chauffe-eau en cas d'absence pour cause de vacances (surtout valable pour les résidences secondaires occupées le week-end).

3.3.2 Prescriptions en matière de décompte individuel des frais d'eau chaude

Selon l'Arrêté fédéral pour une utilisation économe et rationnelle de l'énergie du 14.12.90 et l'Ordonnance visant une utilisation économe et rationnelle de l'énergie du 22.1.92, le décompte individuel est régi comme suit:

– Bâtiments neufs (construction ou autorisation de construire postérieure au 01.05.91):
  Les bâtiments neufs abritant au moins 5 preneurs de chaleur (canton de Berne 4 preneurs) doivent être équipés d'appareils enregistreurs de la consommation de chaleur (en l'occurrence d'eau chaude) individuels.
– Bâtiments existants:
  Pas de prescriptions pour l'eau chaude, sauf dispositions cantonales (par exemple ordonnance générale sur l'énergie du 13.1.93 du

canton de Berne qui stipule que le décompte individuel est à introduire lors de modifications ou de rénovations du système de distribution d'eau chaude).

Répartition des coûts :
Le calcul des coûts doit reposer au moins pour moitié sur la consommation effective.

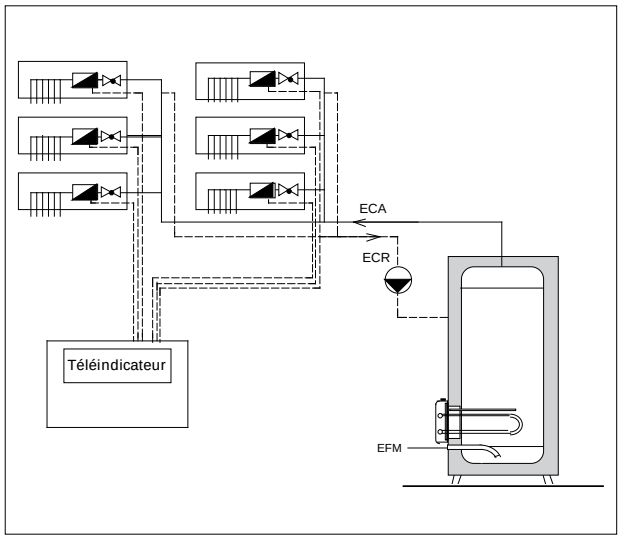


Figure 3.3.2.1 : Concept de mesure d'eau chaude.

3.3.3 Décompte

Avec une disposition décentralisée des chauffe-eau électriques ou à gaz, la consommation d'électricité ou de gaz est mesurée par le compteur d'appartement.

Dans de nombreux cas, l'eau est complètement ou partiellement chauffée à l'aide d'une chaudière. Les frais totaux d'exploitation seront donc tout d'abord répartis proportionnellement en frais de chauffage et frais de préparation d'eau chaude.

Pour déterminer la consommation d'énergie incombant à la préparation d'eau chaude, on déterminera la consommation hors de la période de chauffage en la mesurant avec la plus grande précision possible et on extrapolera la valeur annuelle en tenant compte du degré d'utilisation.

Mode de calcul pour frais d'eau chaude :

$$\frac{\text{Consommation d'énergie pour l'eau chaude}}{\text{Consommation totale d'énergie}} \times \text{frais totaux d'exploitation}$$

Remarque :
Des installations avec chaudière combinée, des conduites de circulation longues et mal isolées dans des bâtiments thermiquement bien isolés se traduisent par des frais d'eau chaude proportionnellement très élevés.

Pour répartir les frais d'eau chaude, il est déterminant de savoir si la consommation d'eau chaude des différents utilisateurs a été mesurée ou non.

Sans mesure, il est recommandé de répartir les frais en fonction de la surface habitable (m^2). La répartition en fonction du nombre de personnes ou du nombre de prises d'eau par appartement est moins indiquée. Pour des consommateurs spéciaux, à savoir salon de coiffure par exemple, on posera obligatoirement un compteur d'eau.

On déterminera par une mesure une part de base en raison des pertes de maintien en température propres au système. La répartition s'effectuera par m^2 de surface habitable. La part de base varie par exemple entre

– 25 à 30% pour une préparation économique d'eau chaude avec régulation de la charge, conduites de distribution bien isolées et interruption de la circulation

et

– jusqu'à 50 % avec chaudière combinée à mazout, conduites de distribution insuffisamment isolées et pas d'interruption de la circulation.

Le solde des frais individuels d'eau chaude est ensuite réparti proportionnellement à la consommation mesurée.

Capitalisation
Les investissements additionnels occasionnés par l'introduction du décompte individuel des frais de chauffage et d'eau chaude peuvent être répercutés sur les locataires. On tiendra toutefois compte des dispositions légales applicables en matière de droit des locataires.

3.4 Sélection du système

3.4.1 Généralités

La sélection du système de distribution est déterminée par les paramètres suivants :

– Mode de chauffage de l'eau.
– Emplacement du chauffe-eau par rapport aux prises d'eau.
– Qualité de l'eau.

3.4.2 Mode de chauffage de l'eau

Le fait que l'énergie soit disponible en permanence ou uniquement à des heures fixes (charge nocturne) influence d'une part le choix du chauffe-eau et d'autre part celui du système de distribution. On distingue essentiellement :

– chauffe-eau à accumulation pour couverture de plusieurs jours (par exemple chauffe-eau solaire) ;
– chauffe-eau à accumulation pour couverture d'un besoin journalier ;
– chauffe-eau à accumulation pour couverture d'une partie du besoin journalier ;
– chauffe-eau instantanés.

3.4.3 Emplacement du chauffe-eau

Pour les installations d'eau chaude avec production individuelle (chauffe-eau dans l'appartement) ou prises d'eau individuelles, on opte généralement pour un système à conduites individuelles :

Il est important que le confort ne soit pas trop diminué par des temps de soutirage trop longs.

Avec des chauffe-eau centraux, il convient de couvrir les pertes de refroidissement pour des raisons de confort. Avec cette disposition, les systèmes de distribution suivants entrent en ligne de compte :

1. Système de circulation avec réchauffage dans l'accumulateur.
2. Système de circulation avec postchauffage externe.
3. Système avec conduites de distribution à ruban chauffant.

Il existe des cas dans lesquels l'intensité d'utilisation – par exemple cuisines professionnelles, douches collectives, etc. – autorise des conduites de dérivation à relativement grosse contenance en eau sans qu'il soit nécessaire de couvrir les pertes par refroidissement. Il faut en outre s'efforcer de limiter à un minimum les conduites maintenues chaudes.

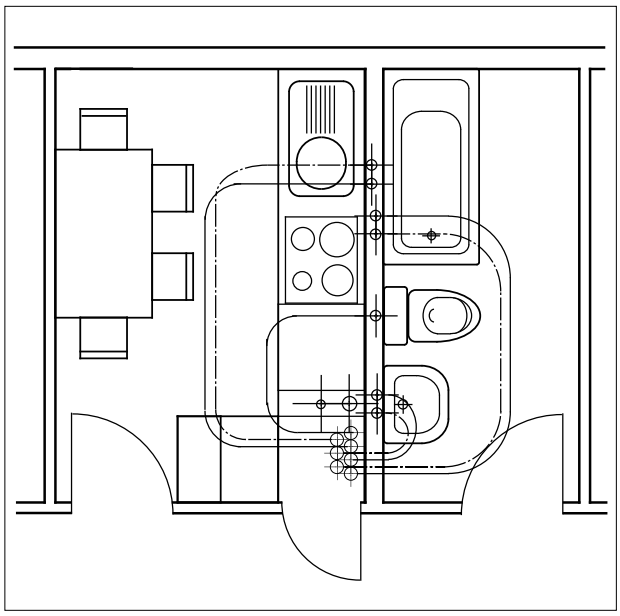


Figure 3.4.2.1 : Disposition idéale des salles d'eau.

3.4.4 Emplacement du compteur d'eau

Le compteur d'eau est à prévoir en aval de l'éventuelle boucle de circulation (c'est-à-dire hors du débit de circulation), et si possible hors de l'appartement (souvent irréalisable dans la pratique). Un organe d'arrêt sera prévu de part et d'autre du compteur pour faciliter les révisions. L'Office fédéral de métrologie publie régulièrement une liste des compteurs homologués pour le décompte individuel.

Exception : pas de compteur d'eau pour les chauffe-eau individuels par appartement, ni pour l'eau chaude des bâtiments non concernés par les prescriptions fédérales ou cantonales.

Recommandation : avec les installations centrales mixtes de préparation d'eau chaude, on peut

aussi poser un compteur sur l'eau froide alimentant le chauffe-eau afin de pouvoir déterminer (en dehors de la période de chauffage) la part d'énergie incombant à l'eau chaude. Les brûleurs à mazout (ou mazout/gaz) seront équipés de compteurs de mazout et de compteurs d'heures de marche.

3.4.5 Composition de l'eau

La qualité de l'eau a une influence essentielle sur le choix des matériaux du système de distribution d'eau chaude.

La décision repose sur l'analyse de l'eau :

- Faut-il utiliser des conduites réalisées dans des matériaux spéciaux en raison des risques de corrosion ?
- L'eau nécessite-t-elle un traitement ?

L'influence de la qualité de l'eau sur l'accumulateur d'eau chaude est la suivante :

- Choix des matériaux en fonction des risques de corrosion et de la température.
- Choix de la protection de l'accumulateur contre la corrosion (anodes, ...).
- Choix d'un échangeur de chaleur approprié en fonction du risque d'entartrage.

3.5 Pertes énergétiques

3.5.1 Pertes thermiques

Une part importante des pertes (25 % et plus) sont imputables aux pertes par les conduites. La part imputable au chauffe-eau est plutôt modeste.

La conception de la conduite de distribution est donc particulièrement importante.

Par « pertes énergétiques », on entend :

- Pertes thermiques des conduites de circulation.
- Pertes thermiques par chauffage direct au moyen d'un ruban chauffant.
- Refroidissement des conduites de dérivation.
- Pertes de la robinetterie.

3.5.2 Perturbation de la stratification

Conséquence des pertes thermiques et du mélange dans l'accumulateur, la stratification est perturbée, ce qui a pour effet de diminuer la quantité possible de soutirage.

Outre les perturbations de la stratification provoquées par les phénomènes décrits dans le chapitre 2, les perturbations en service normal (soutirages, circulation) sont également fréquentes. Les causes les plus courantes sont les suivantes :

- vitesse d'entrée trop élevée d'eau froide ;
- conduites de circulation mal isolées ;
- mauvaise disposition de la tuyauterie ;
- mauvais dimensionnement des conduites de circulation ;
- mauvais dimensionnement du circulateur ;
- mauvais réglage, respectivement pas de réglage, des circulations.

Avec un accumulateur d'eau chaude moderne, les pertes énergétiques sont réduites au strict minimum moyennant le respect des principes suivants :

- tubulure d'entrée suffisamment grande ;
- pas de tuyauterie superflue ;
- présence de déflecteurs ;
- position correcte des tubulures, etc.

3.5.3 Circulation

En principe, on distingue deux systèmes courants de circulation d'eau chaude :

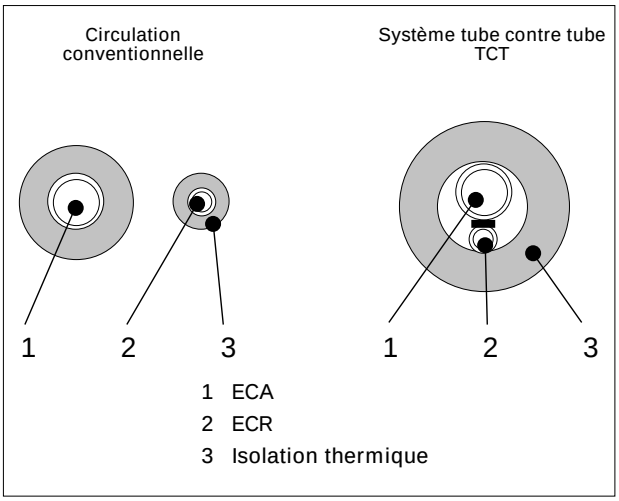


Figure 3.5.3.1 : Coupe de systèmes de circulation.

Avec ces systèmes, les pertes thermiques sont indirectement compensées par le chauffe-eau, ce qui signifie que celles-ci sont préchauffées ou postchauffées dans le chauffe-eau. En principe, des circulations ne conviennent que lorsqu'on dispose constamment d'énergie (gaz, mazout, chaleur perdue) pour couvrir les pertes thermiques. Les chauffe-eau chauffés durant la nuit pour couvrir la consommation journalière ne seront jamais combinés avec une circulation qui aurait une influence très négative sur la stratification dans l'accumulateur.

Il existe cependant des solutions permettant de compenser les pertes thermiques par un postchauffage hors de l'accumulateur :

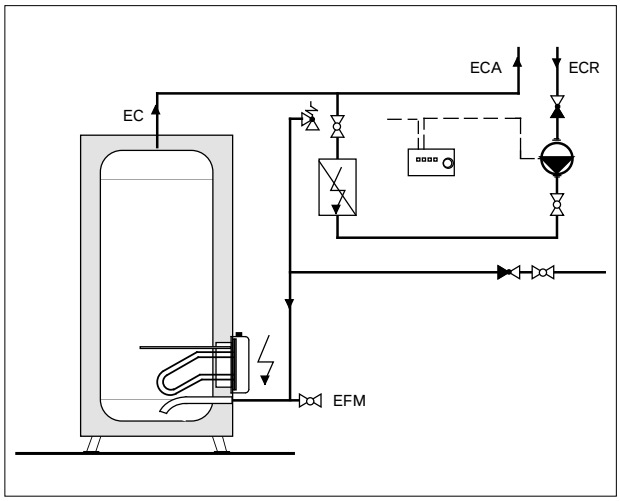


Figure 3.5.3.2 : Postchauffage (système de circulation).

Avec ces solutions, le problème de perturbation de la stratification est résolu.

Les pertes énergétiques admissibles et les mesures correspondantes sont définies dans la plupart des lois sur l'énergie ; par exemple législation du canton de Berne (tableau 3.5.3.4).

La qualité de l'isolation sera conçue de manière à parvenir à une perte thermique de 7 W/m en moyenne.

Une longueur de circulation de 150 m de longueur présente ainsi une perte thermique permanente d'environ 1 kW pendant le service, ce qui correspond à une quantité d'eau chaude de 430 litres environ à 60° C pendant 24 heures. Dans tous les cas, la circulation devrait être interrompue pendant les heures « creuses ».

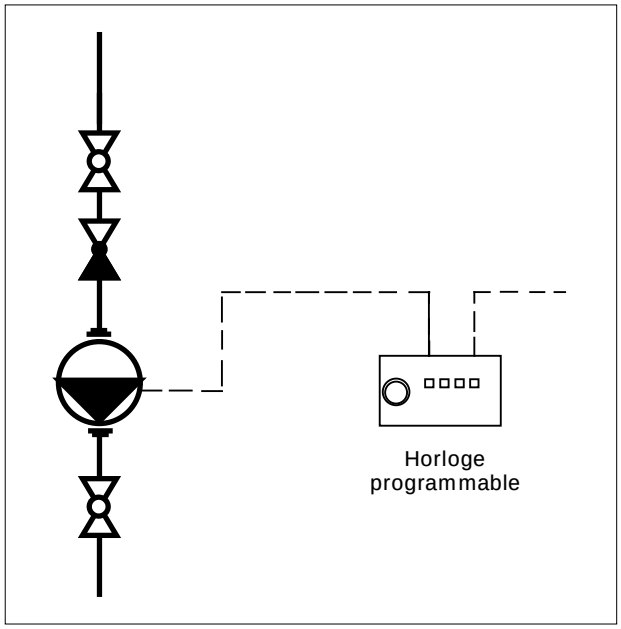


Figure 3.5.3.3: Représentation schématique d'un système d'interruption de circulation.

Les pertes énergétiques de conduites constamment maintenues chaudes dépendent des facteurs suivants:

- Différence de température entre le fluide et l'environnement.
- Diamètre des conduites.
- Matière et épaisseur de l'isolation.
- Qualité d'exécution de l'isolation (étanchéité à l'air).
- Longueur des conduites.
- Heures de service de l'installation.

On veillera à ce que la circulation soit conçue de manière à ne perturber que faiblement la stratification dans les accumulateurs, à savoir:

- faible différence de température entre l'aller et le retour;
- faible vitesse de circulation (environ 0,5 m/s);
- disposition correcte de la prise de retour de circulation (le plus haut possible);
- optimisation du circulateur (faible consommation de courant).

Diamètre nominal Pouces		10 3/8"	15 1/2"	20 3/4"	25 1"	32 5/4"	40 11/2"	50 2"	65 21/2"	80 3"	100 4"	125 5"	150 6"	175 7"	200 8"
Différence de température en K	Heures de service en h/a	Epaisseur d'isolation minimale pour conduites d'eau chaude de 1/2" 40 mm													
	3/8" à 11/2" 40 mm														
40	4000	30	30	30	30	30	30	40	50	50	60	80	80	80	80
	6000	30	30	40	40	40	40	50	50	50	60	80	80	80	80
	8760	40	40	40	50	50	50	60	60	60	60	80	80	80	80
60	4000	30	30	40	40	40	40	50	50	50	60	80	80	80	80
	6000	40	40	40	50	50	50	60	60	60	80	80	80	80	80
	8760	50	50	50	60	60	60	60	80	80	80	80	100	100	100
80	4000	40	40	40	50	50	50	60	60	60	60	80	80	80	80
	6000	40	50	50	60	60	60	60	80	80	80	80	100	100	100
	8760	60	60	60	60	80	80	80	100	100	100	100	120	120	120

Tableau 3.5.3.4: Epaisseur d'isolation minimale pour le chauffage et sanitaire.

3.5.4 Ruban chauffant

Pour les accumulateurs d'eau chaude qui sont par exemple chauffés durant la nuit pour couvrir les besoins journaliers, l'utilisation d'un ruban chauffant autorégulant constitue une autre possibilité pour compenser les pertes.

Les rubans chauffants électriques autorégulants permettent de maintenir les conduites d'eau chaude à la température désirée :

- Chauffage exclusivement électrique (énergie diurne).
- Suppression de la conduite de retour maintenue chaude (réduction de l'encombrement et de la consommation d'énergie).
- En service uniquement entre les phases de soutirage.

En fonction de la dimension des conduites et de la température ambiante, les pertes énergétiques à couvrir entre les phases de soutirage sont de l'ordre de 7 à 9 W/m.

3.5.5 Conduites de dérivation ou conduites de distribution ponctuelles (système de soutirage individuel)

Les conduites d'alimentation s'utilisent dans les conditions suivantes :

- chauffe-eau à proximité de l'utilisateur ;
- conduites de dérivation très utilisées (par exemple douches collectives).

Domaines d'application de ce système :

- villas familiales ;
- appartements avec accumulateur individuel ;
- prises d'eau regroupées, par exemple dans campings, vestiaires, écoles, etc. ;
- prises d'eau à grand débit et faible fréquence d'utilisation.

On respectera les délais d'attente au soutirage du contenu des conduites suivants (selon SIA 385/3) :

– Eviers de cuisine	7 s
– Lavabos	10 s
– Douches	10 s
– Baignoires	15 – 20 s

On sera attentif aux prises d'eau soumises à des conditions spéciales, à savoir par exemple lavabos dans cabinets médicaux, douches dans salons de coiffure, etc.

On peut se poser la question de savoir s'il faut isoler les conduites individuelles.

Selon l'importance des conduites, des soutirages se succédant très rapidement dans l'espace de quelques minutes peuvent être considérés comme un seul soutirage. Des interruptions plus longues entraînent des refroidissements à des températures qui ne peuvent plus être considérées comme « chaudes ». Dans ce cas, une isolation thermique des conduites n'est pas indispensable.

Avec des conduites à grand débit utilisées très souvent ou pratiquement en permanence (par exemple cuisines professionnelles), une isolation thermique est recommandée. Qu'ils soient raccordés à un accumulateur ou à des conduites de distribution maintenues chaudes, les distributeurs seront protégés contre les pertes thermiques. Avec des distributeurs placés en dessus de l'accumulateur, les pertes thermiques peuvent en outre provoquer une circulation interne qui perturbe à son tour la stratification.

4. Soutirage de l'eau chaude, consommation

4.1 Confort 69
4.1.1 Notion de confort 69
4.1.2 Disponibilité 69
4.1.3 Débit 69
4.1.4 Températures 70
4.1.5 Composition de l'eau 70

4.2 Robinetterie 70
4.2.1 Types de robinetterie 70
4.2.2 Commande de la robinetterie 71

4. Soutirage de l'eau chaude, consommation

4.1 Confort

4.1.1 Notion de confort

Confort = tout ce qui contribue au bien-être (dictionnaire).

Dans le contexte de l'approvisionnement en eau chaude, on mentionnera les critères suivants pour définir le confort :

- Disponibilité.
- Débit.
- Température.
- Qualité de l'eau.
- Utilisation de la robinetterie.

La notion de confort n'est pas une grandeur uniforme ; elle est déterminée individuellement par pondération de différents facteurs. Au cours du temps, la pondération de ces critères peut être influencée par d'autres facteurs et soumise ainsi à une modification. Pour un bâtiment d'habitation bien isolé thermiquement, ce facteur sera par exemple la part en % de la consommation d'énergie qui jouera un rôle plus important que dans un bâtiment plus ancien mal isolé. La part de consommation sera ainsi plus facilement perceptible et incitera à faire des économies.

Afin de faire évoluer la consommation d'énergie dans la bonne direction (minimisation), la notion de confort individuel doit être redéfinie en référence à l'eau chaude.

La condition préalable à une redéfinition de la notion de confort et donc à une modification du comportement des utilisateurs consiste à connaître les facteurs qui lient les critères essentiels de confort – la méconnaissance de ces relations se traduisant en outre souvent par une consommation inutile d'énergie.

Tous les critères de confort énumérés ne peuvent pas être influencés considérablement par le comportement des utilisateurs. Nous ne traiterons donc ci-après que des critères vraiment importants.

4.1.2 Disponibilité

Comme cela ressort des chapitres correspondants, la dépense énergétique pour la mise à disposition d'eau chaude dépend essentiellement des composants utilisés.

De l'eau chaude constamment disponible en quantité suffisante implique des pertes de maintien en température qui dépendent du mode de préparation.

Avec une bonne isolation thermique, les pertes énergétiques par l'enveloppe de l'accumulateur d'eau chaude ne représentent que 4 à 8% de la dépense totale d'énergie pour l'eau chaude.

4.1.3 Débit

Avec un robinet complètement ouvert, le débit dépend de la pression d'écoulement et de la section de l'ouverture. Avec une même robinetterie et dans un même bâtiment, le débit peut donc fortement varier. Moyennant une buse appropriée, le débit peut être fortement réduit par un bon mélange, émulsion d'air et d'eau (par exemple pommes de douches).

L'évaluation de différentes analyses fait ressortir que les robinetteries modernes se contentent d'un petit débit.

L'utilisation de limiteurs de débit travaillant indépendamment de la pression est donc un moyen qui se justifie parfaitement pour réduire un débit souvent excessif dans la pratique et abaisser ainsi la consommation d'eau et d'énergie.

Exemple

Lavabo = 6 l/min (1 UR)
Douche = 12 l/min (2 UR au lieu de 3 UR dans W3)

UR = unité de raccordement 1 UR = 0,1 l/s
W3 = directives pour l'établissement d'installations d'eau (SSIGE)

Avant d'utiliser de tels limiteurs de débit sur des installations existantes, il convient de vérifier leur utilité et leur effet sur le réseau de distribution.

4.1.4 Températures

La sensation procurée par une température d'eau chaude agréable dépend principalement de l'usage qui est fait de l'eau, et dans une moindre mesure de la saison.

Pour les soins corporels, une température utile (température du mélange d'eau) d'environ 37 à 45° C est souhaitable. Pour des travaux de nettoyage, une température de 50 à 55° C est recommandée.

Les pertes énergétiques d'un accumulateur et d'un système de distribution sont pratiquement proportionnelles à la différence de température entre l'eau chaude et l'environnement. Un rapprochement de la température de l'accumulateur de la température utile désirée nécessite une majoration de son volume. Avec une même isolation thermique du réservoir, les pertes de maintien en température sont d'environ 10 % inférieures malgré la surface plus importante de l'accumulateur.

Avec des lavabos équipés de mélangeurs à monocommande, on peut s'attendre à réaliser une économie supplémentaire d'énergie, car la température du mélange d'eau est plus basse en raison de la position généralement médiane du monocommande. Il est toutefois indispensable d'utiliser le mélangeur à monocommande d'une manière correcte.

Lorsque la température de l'accumulateur se rapproche de la température utile, il faut s'attendre à des vitesses d'écoulement plus importantes qu'avec des températures d'eau chaude plus élevées ; dans ce cas et selon les circonstances, il faut se soucier des légionelles (pollution bactérienne).

4.1.5 Composition de l'eau

Une qualité d'eau suffisante est garantie par les distributeurs, même si les conditions deviennent toujours plus difficiles et si les coûts augmentent. Dans le réseau de distribution interne, l'hygiène peut être influencée favorablement par l'utilisateur moyennant une maintenance et une robinetterie appropriées.

4.2 Robinetterie

4.2.1 Types de robinetterie

La consommation d'eau et d'énergie peut être réduite si les différents types de robinetterie sont utilisés conformément à leurs avantages.

Batterie murale normale

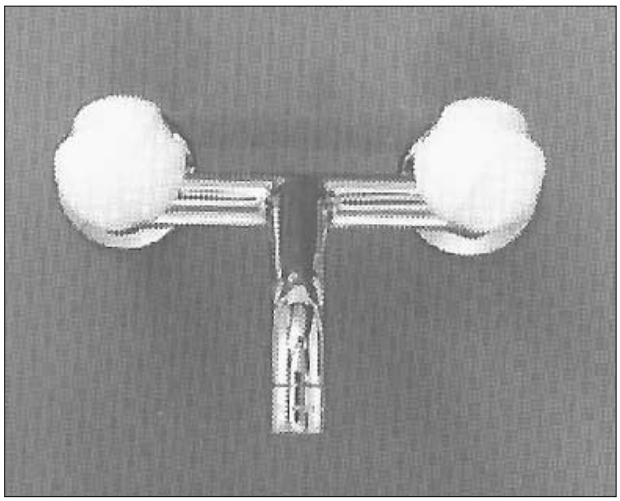


Figure 4.2.1.1 : Batterie murale.

Mitigeur mécanique à levier

Figure 4.2.1.2 : Mitigeur mécanique à levier.

Mélangeur thermostatique

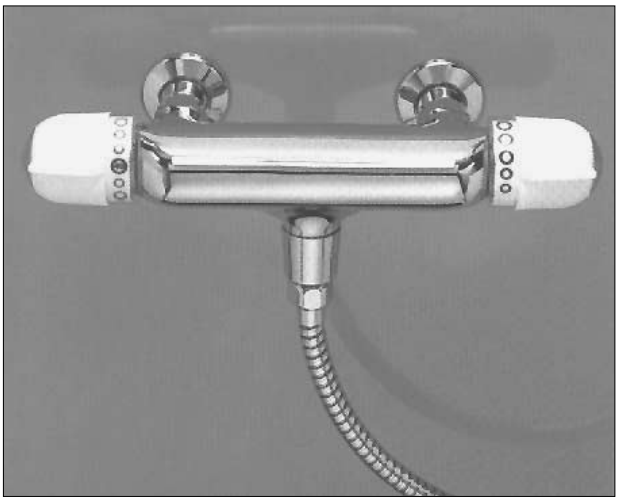


Figure 4.2.1.3: Mélangeur thermostatique.

Le tableau ci-dessous montre que la consommation d'énergie pour l'eau chaude:

- est 19% plus élevée avec un mélangeur à deux robinets pour bain/douche qu'avec un mélangeur thermique (consommation supplémentaire d'énergie environ 200 kWh/an);
- est 56% plus élevée avec un mélangeur à deux robinets pour lavabo qu'avec une robinetterie sans contact (consommation supplémentaire d'énergie environ 200 kWh/an).

Robinetterie	Eau chaude (l)	%	Eau mélangée (l)	%	Température (° C)
Bain					
Mélangeur thermique	64	100	108	100	38,7
Mél. à monocommande	69	108	114	106	39,7
Mél. à deux robinets	76	119	122	113	39,9
Lavabo					
Robinett. sans contact	16	100	30	100	36,3
Mél. à monocommande	20	125	39	130	35,5
Mélangeur thermique	23	143	48	160	34,2
Mél. à deux robinets	25	156	47,5	158	36,0

Tableau 4.2.1.4: Influence de la robinetterie sur la consommation d'énergie; base: eau chaude à 55° C, eau froide à 15° C.

Type de robinetterie	Consom. d'énergie	Consom. d'eau	Coût	Remarque
Mél. à deux robinets	élevée	élevée	faible	simple
Mél. à monocommande	faible	moyenne	normal	économ.
Mélangeur thermique	moyenne	élevée	élevé	confort.
Robinett. sans contact	faible	faible	élevé	hygiénique

Tableau 4.2.1.5: Matrice d'analyse pour lavabos.

4.2.2 Commande de la robinetterie

La multitude de robinetteries proposées permet de couvrir les désirs les plus variés. L'emploi des différentes robinetteries ne semble toutefois pas être toujours très rationnel. Pour des raisons pratiques, les droitiers actionnent souvent inutilement le robinet d'eau chaude ou laissent le levier du mitigeur à monocommande dans sa position médiane, quand bien même la quantité soutirée ne dépasse guère la quantité de soutirage nécessaire pour atteindre la température désirée.

En examinant l'ergonomie des différentes robinetteries sous l'angle de la consommation inutile d'eau chaude (mitigeurs à monocommande, robinetterie électronique, robinetterie sans contact), il serait certainement possible d'arriver à des résultats positifs. On s'aperçoit que par rapport à la quantité d'eau chaude effectivement utilisée, une quote-part importante d'énergie est souvent inutilement perdue par refroidissement.

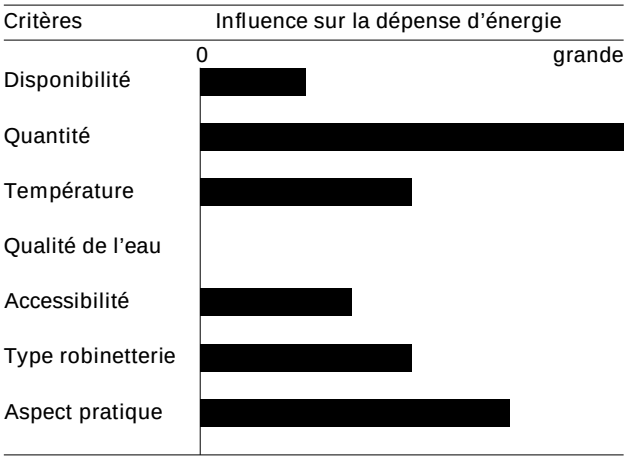


Tableau 4.2.2.1: Matrice confort/énergie.

5. Calcul d'installations d'eau chaude

5.1 Chauffe-eau 75
5.1.1 Détermination des besoins 75

5.2 Conduites 79
5.2.1 Généralités 79
5.2.2 Installation normale 79
5.2.3 Installation spéciale 79
5.2.4 Circulation 81

5. Calcul d'installations d'eau chaude

5.1 Chauffe-eau

5.1.1 Détermination des besoins

Les besoins en eau chaude ne correspondent pas à une grandeur fixe ! Pour des objets normaux, on peut les tirer avec une précision suffisante des tableaux figurant dans la littérature spécialisée.

Des accumulateurs qui ne sont pas trop petits lors des pointes annuelles sont trop gros !

Besoins des utilisateurs
Pour quels usages a-t-on besoin d'eau chaude ?

- Hygiène (soins corporels).
- Préparation des mets.
- Travaux de nettoyage en général.

La consommation dépend des facteurs suivants :

- Exigences des utilisateurs ; volonté ou obligation de limiter la consommation (par exemple avec des loyers élevés, la motivation d'économiser est faible).
- Standard d'aménagement de l'installation, grandeur des pommes de douche, nombre de prises d'eau, type de robinetterie.

La consommation journalière
Le tableau des besoins en eau chaude (voir annexe) est tiré du Manuel SI 5 publié par l'Union Suisse des professionnels de la technique sanitaire et chauffage USTSC. Il se base sur les résultats de mesures effectuées sur des bâtiments existants ainsi que sur des valeurs empiriques. Les chiffres se prêtent à une large marge d'appréciation. Quand faut-il appliquer les valeurs supérieures, et quand faut-il appliquer les valeurs inférieures ?

Exemple :
L'accumulateur d'un appartement de deux pièces occupé par une seule personne doit couvrir les besoins de pointe suivants [l / j à 60° C] :

Cuisine	30 l / j
Hygiène générale	10 l / j
Douche rapide + bain complet	90 l / j
Litres au total	130 l / j

Cette pointe de consommation se présente peut-être une fois par semaine. La consommation journalière moyenne est de l'ordre de 50 litres. Plus il y a d'unités (personnes, appartements) alimentées par le même accumulateur, plus son volume total peut se rapprocher de la moyenne.

Un accumulateur central pour 20 appartements de deux pièces ne nécessite donc pas une capacité de

20 x 130 litres = 2600 litres,

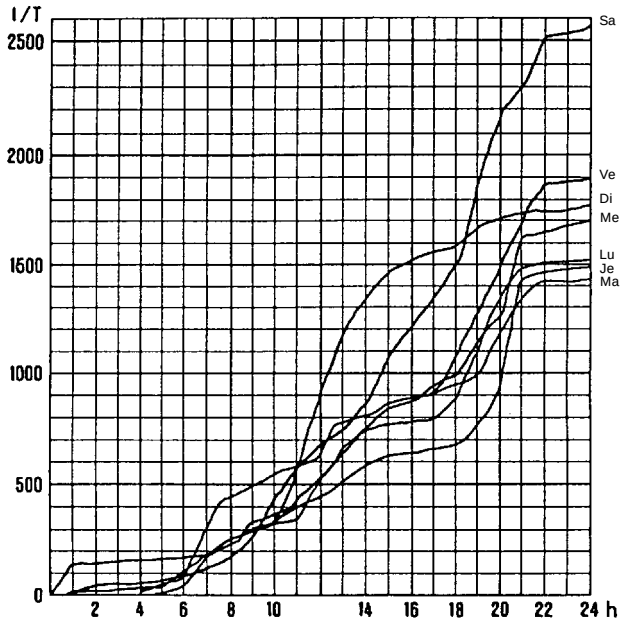
mais plutôt

20 x 50 litres = 1000 litres

Dans la construction de logements et par exemple dans l'hôtellerie, on peut distinguer en fonction d'un standard simple, moyen et élevé. Une classification en fonction du confort doit néanmoins tenir compte des mêmes critères. Il faudra donc plutôt se livrer à une interprétation par rapport au nombre d'unités raccordées. L'utilisation simultanée probable par un grand nombre de consommateurs raccordés joue en l'occurrence une fonction d'équilibre lors des pointes, comme cela est également le cas pour l'alimentation en gaz, eau et électricité ou pour l'évacuation des eaux usées.

Courbe journalière de consommation

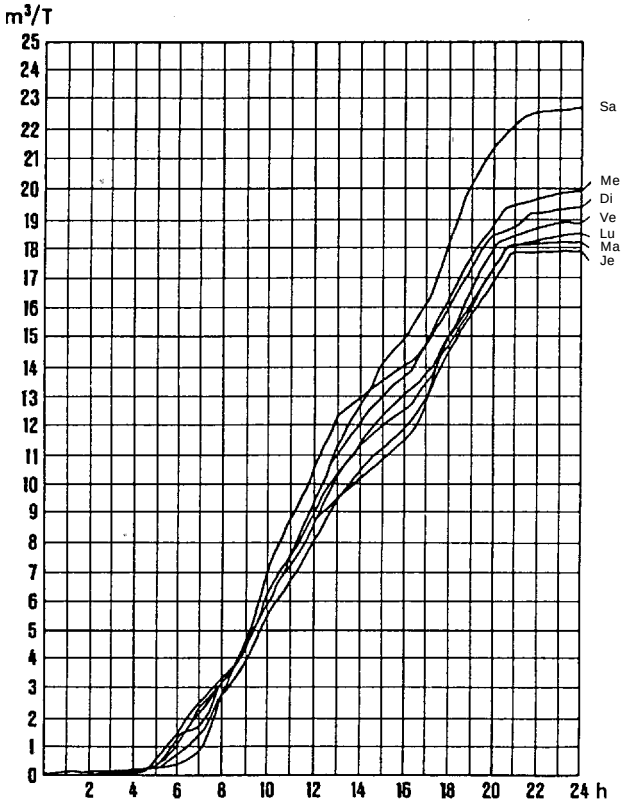
Le diagramme présente la consommation cumulée d'eau chaude dans un locatif avec équipement sanitaire de standard moyen. Il s'agit en l'occurrence d'un immeuble de 18 appartements avec 47 habitants.



Le diagramme permet de lire les valeurs suivantes:

- Total des besoins journaliers max.
  2550 l = 54 l/personne par jour
- Besoins journaliers moyens
  1770 l = 38 l/personne par jour
- Besoins standard max. (jeudi de 20.00 à 21.00 h)
  500 l/h
- Différence besoins min./max. 78%

Immeuble d'habitation avec 145 appartements et 400 habitants, mesure effectuée à Genève-Le Lignon



Le diagramme permet de lire les valeurs suivantes:

- Total des besoins journaliers max.
  22 700 l = 57 l/personne par jour
- Besoins journaliers moyens
  19 400 l = 48 l/personne par jour
- Besoins standard max. (jeudi de 09.00 à 10.00 h)
  2300 l/h
- Différence besoins min./max. 27%

Ces deux exemples permettent de déduire ce qui suit:

Plus le nombre de consommateurs est élevé, plus la différence entre la consommation maximale et minimale est modérée.

Pour déterminer les besoins en eau chaude, il est important de savoir quelles grandeurs l'on désire connaître.

Est-ce :

- les besoins min. nK au-dessous desquels il ne faut pas descendre lors du dimensionnement de l'installation ;
- les besoins moyens mK comme base pour des calculs de rentabilité ;
- les besoins de pointe hK pour le calcul de la puissance du chauffe-eau.

Les chiffres ci-dessous se basent sur des mesures de consommation.

Pour un calcul de rentabilité, il est important de tenir compte des absences des utilisateurs, des vacances scolaires, etc. Pour la construction de logements, on tiendra par exemple compte d'environ 340-350 jours, mais de 365 jours pour des maisons de retraite.

Des mesures effectuées sur près de 28 000 appartements dans le canton de Vaud ont fait apparaître une consommation d'eau chaude de 74 l/jour par appartement. De telles valeurs ne sont pas importantes en ce qui concerne la construction de l'installation d'approvisionnement en eau chaude, mais on peut s'y référer pour des calculs de rentabilité.

Dans différentes ordonnances sur l'énergie, respectivement dans la norme SIA 384/1, on exige que le volume de l'installation de préparation d'eau chaude corresponde au volume des besoins journaliers ; lors du dimensionnement, on tiendra compte des pertes éventuelles propres au système de distribution.

Extrait de tableaux de besoins en eau chaude

Type de bâtiment	Affectation Remarque	Unité	Eau chaude en l à 60°/jour		
			nK	mK	hK
Villa familiale	standard simple	P	30	35	40
Appartement en PPE	standard moyen	P	35	40	50
Bâtiment locatif	construction de logements en généreral	P	30	35	45
Tea-rooms	forte occupation	S	20	30	40
Hôtel	standard simple	B	40	50	70
Maison de retraite (EMS)	standard simple	B	30	40	50
Hôpital	moyenne	B	70	80	100
Restaurant	repas avec 3 plats	E/M	8	10	12
			Eau chaude en l à 45°C		
Douches	Ecoliers	D/P	30	35	40
Douches	Sportifs	D/P	50	60	70
Douches pour ouvriers d'usine	Travail peu salissant	D/P	45	50	60
Douches pour ouvriers d'usine	Travail très salissant	D/P	50	60	70
Bain	Baignoire normale	B/P	120	150	180
Bain	Grande baignoire	B/P	150	180	200
Baignoire d'hydrothérapie		B/P	250	300	400

Tableau 5.1.1.1: Tableau des besoins en eau chaude.

Exemple pour un ensemble d'habitation

Pour illustrer une solution concrète, nous allons nous baser sur un exemple:

Maisons plurifamiliales (ensemble d'habitation)

Bâtiment	Appartements	Pièces	Total des habitants
1	10	40	40
2	14	53	53
3	8	32	32
Total	32	125	125

Besoins journaliers en eau chaude

Litres à 60° C par jour/standard moyen	min.	moyenne	max.
par personne	30	40	50
3 personnes (appartement de 3½ pièces)	90	120	150
4 personnes (appartement de 4½ pièces)	120	160	200
5 personnes (appartement de 5½ pièces)	150	200	250

(Ces valeurs ne doivent pas être utilisées pour le dimensionnement des chauffe-eau individuels)

Par bâtiment

	min.	moyenne	max.
Bâtiment 1 10 appartements de 4½ pièces = 40 personnes	1200	1600	2000
Bâtiment 2 11 appartements de 4½ pièces = 44 personnes 3 appartements de 3½ pièces = 9 personnes Total 53 personnes	1590	2120	2650
Bâtiment 3 4 appartements de 5½ pièces = 20 personnes 4 appartements de 3½ pièces = 12 personnes Total 32 personnes	960	1280	1600
Besoins totaux journaliers en eau chaude	3750	5000	6250

Il est possible de déterminer le nombre de personnes d'une manière très simple. Dans la construction de logements, on compte en principe avec une personne par pièce entière.

Le dimensionnement des chauffe-eau d'appartement est facile.

Grandeur de l'appartement	Nombre de personnes	Besoins en eau chaude en l à 60° C/jour		
		nK	mK	hk
Appartement de 1 pièce	1	50	70	95
Appartement de 2 pièces	1-2	70-95	95-120	120-200
Appartement de 3 pièces	2-3	95-120	120-200	200-250
Appartement de 4pièces	3-4	120-250	250-300	300-500
Appartement de 5 pièces	4-5		200-500	
Appartement de 6 pièces	5-6		400-600	

Tableau 5.1.1.2 : Détermination des besoins en eau chaude.

Besoins annuels en eau chaude
Pour déterminer le coût de l'énergie thermique, on utilisera les valeurs suivantes :

Consommation moyenne en eau chaude par personne 40 litres par jour à 60° C pour environ 300 à 320 jours par année, soit environ 12 m^3/an

- Appartement occupé par 3 personnes
  environ 36 m^3/an
- Appartement occupé par 4 personnes
  environ 48 m^3/an
- Appartement occupé par 5 personnes
  environ 60 m^3/an

Ces chiffres correspondent à une consommation journalière moyenne (365 jours) par personne d'environ 33 litres à 60° C. Comparativement aux mesures de consommation mentionnées en début de chapitre, la quantité est presque diminuée de moitié. Dans le cas présent, on ne tiendra toutefois pas compte de ces chiffres, car la consommation moyenne diminue lorsque le nombre d'appartements augmente.

5.2 Conduites

5.2.1 Généralités

Les dimensions des conduites n'ont qu'une faible influence sur la consommation d'énergie d'une installation d'eau chaude.

Les circulations par pompe peuvent par contre se traduire par une consommation d'énergie supplémentaire considérable en cas de mauvais dimensionnement. Dans ce chapitre, nous nous pencherons tout particulièrement sur le calcul des circulations.

Lors du dimensionnement des conduites, on distingue entre :
– Installations normales.
– Installations spéciales.

5.2.2 Installations normales

Par installations normales, on entend des installations dont les prises d'eau, indépendamment de leur nombre, ne présentent pas de débits importants ou de taux élevés de soutirages simultanés. On trouve dans les tableaux des directives W3 1992 relatifs à la réalisation d'installations d'eau chaude les unités de raccordement des différentes robinetteries, respectivement des différents appareils.

Les tableaux spécifiques aux matériaux définissent les dimensions des conduites de distribution. Les tableaux pour installations normales tiennent intégralement compte des cas d'utilisation simultanée des appareils.

5.2.3 Installations spéciales

Des installations spéciales sont des installations qui impliquent une ou plusieurs des conditions additionnelles suivantes :
– taux élevé de soutirages simultanés (douches dans salles de gymnastique) ;
– prises d'eau restant ouvertes longtemps (consommateurs permanents) ;
– prises d'eau à débit élevé sortant du cadre des tableaux de dimensionnement des installations normales.

Le dimensionnement d'une installation spéciale exige des calculs complexes et précis si l'on veut garantir un fonctionnement optimal de celle-ci.

Les points suivants sont déterminants :

- Débit en phase de soutirage max. (soutirage de pointe).
- La perte de charge maximale admissible après le compteur, respectivement le réducteur de pression général, est de 1,5 bar.
- La pression d'écoulement min. à la prise d'eau la plus élevée ou la plus éloignée sera de 1 bar.
- Le diamètre intérieur min. sera de 10-16 mm en fonction du matériau de la conduite.
- La vitesse d'écoulement dans les conduites se situera entre 1,5 et 2,0 m/s.

Tableau : unités de raccordement des appareils et robinetteries

Application	Débit par raccordement		Débit par raccordement
	l/s	l/min	UR
Lavabos, bidets, lavabos-rigoles, réservoirs de chasse d'eau	0,1	6	1
Eviers, vidoirs, lavabos muraux scolaires, douches pour salons de coiffure, lave-vaisselle domestiques, chauffe-eau instantanés à gaz, cuves à lessive	0,2	12	2
Robinetteries de douche de puissance moyenne, chauffe-eau instantanés à gaz	0,3	18	3
Grands éviers, vidoirs indépendants, vidoirs muraux, robinetteries de bain, machines à laver automatiques jusqu'à 6 kg, chauffe-eau instantanés à gaz, urinoirs à rinçage automatique	0,4	24	4
Robinets de jardin et de garage	0,5	30	5
Raccordements 3/4" – Eviers pour grandes cuisines – Baignoires à grande capacité – Douches	0,8	48	8

Tableau 5.2.3.1 : Détermination des unités de raccordement de différents consommateurs selon directives pour l'établissement d'installations d'eau W3, édition 1992.

Tableau 2a: unités de raccordement et diamètre pour: tubes en acier galvanisé DIN 2440/44							
Nombre max. d'UR	6	16	40	160	300	600	1600
DN (mm)	15	20	25	32	40	50	65
Tubes filetés (pouces)	1/2"	3/4"	1	11/4"	11/2"	2	21/2"
Di (mm)	16	21,6	27,2	35,9	41,8	53	68,8

Exemple 5.2.3.2 de tableau de dimensionnement d'après les UR selon directives W3. Il existe des tableaux similaires pour d'autres matériaux.

5.2.4 Circulation

Il existe certaines incertitudes quant au dimensionnement des conduites de circulation. Les dimensions des conduites d'aller sont normalement déterminées selon W3f, tandis que les conduites de retour sont parfois déterminées selon des « règles empiriques ».

Aujourd'hui, chaque circulation devrait être calculée et réglée, les paramètres suivants jouant un rôle capital:

– vitesse;
– perte de pression;
– perte thermique;
– chute de température.

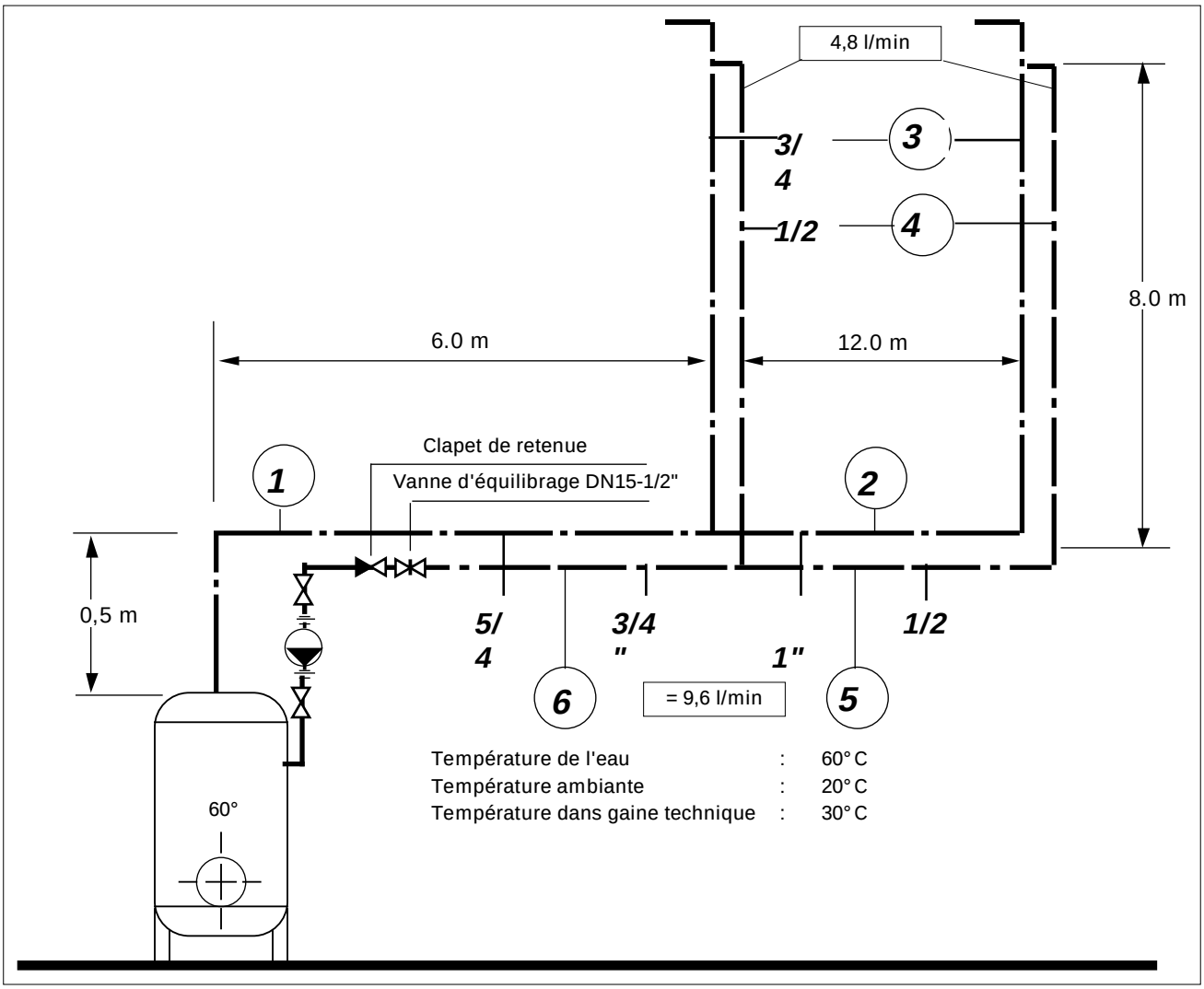


Figure 5.2.4.1: Exemple d'installation simple avec circulation.

Vitesse

Dans les directives ainsi que dans le cadre de divers séminaires consacrés à la corrosion, on mentionne que les vitesses d'écoulement dans les conduites d'eau doivent se situer entre 0,5 et 1,5 m/s en fonction du matériau de la conduite.

Pour le dimensionnement de conduites de circulation, on partira donc logiquement de la vitesse d'écoulement ! Une vitesse de circulation d'environ 0,5 m/s garantit :

- Un débit suffisant relatif à l'hygiène et à la corrosion.
- De faibles pertes de pression et donc de faibles puissances de pompage.
- Une perturbation limitée du retour dans l'accumulateur.

Il faut atteindre les vitesses minimales dans tous les tronçons des retours ! Les conduites de distribution sont aussi rincées lors des soutirages d'eau.

Avec une conduite de retour de 1/2" (diamètre minimal selon W3f), on obtient ainsi un débit de 4,8 l/min. Lorsque deux retours se rejoignent, il en résulte un débit doublé de 9,6 l/min. dans le retour collectif, ce qui nécessitera une conduite de 3/4" pour la vitesse requise de 0,5 m/s.

Il est ainsi facile de déterminer le débit de pompage.

Perte de pression

Le calcul des pertes de pression s'effectue comme pour toutes les conduites d'eau et de gaz sur la base de la longueur des conduites, des pertes de charge individuelles et du débit selon tableaux de pertes de pression.

Ces pertes de charge permettent de déterminer la hauteur de refoulement du circulateur. Les pertes de charge de conduites d'aller de gros diamètre et de faible débit ne représentent qu'environ 10% du total des pertes.

Choix de la pompe

Les caractéristiques de la pompe se calculent à partir du débit de pompage préalablement déterminé et des pertes de charge. Par exemple débit 0,58 m^3/h. Pertes de charge 112 mbar = 1.1 mCE.

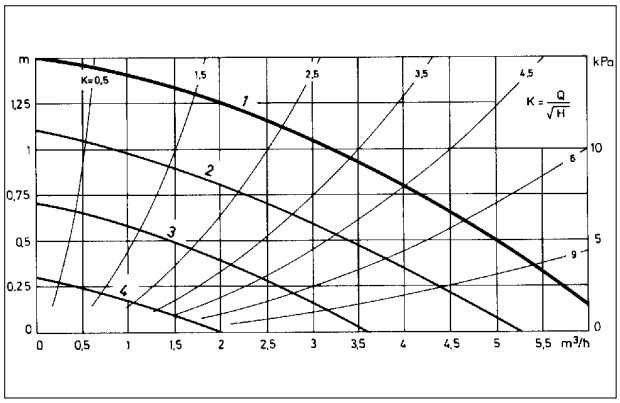


Figure 5.2.4.3 : Exemple de diagramme pour détermination de la pompe.

Pertes thermiques

On peut partir d'une température de l'eau de 60°C (ou d'une autre valeur nominale de l'accumulateur) pour procéder à une détermination approximative des pertes thermiques. Par rapport à d'autres imprécisions de calcul (température ambiante, température exacte de l'accumulateur, valeurs exactes d'isolation), celles dues au refroidissement progressif dans la conduite n'entrent pas en ligne de compte.

Tr N°	Dim. pouce	Long. (m)	Rac. (%)	L total (m)	Débit (dm^3/s)	Δp/m mbar/m	Δp/tot (mbar)
1	5/4	6,5	60	10,40	0,1608	0,13	1,35
2	1	12,0	60	19,20	0,0804	0,14	2,69
3	3/4	8,0	60	12,80	0,0804	0,45	5,76
4	1/2	8,0	60	12,80	0,0804	2	25,60
5	1/2	12,0	60	19,20	0,0804	2	38,40
6	3/4	7,0	100	14,00	0,1608	1,7	23,80
				Total des pertes de charge (mbar)			98,00

Tableau 5.2.4.2 : Calcul des pertes de charge en vue de déterminer les caractéristiques de la pompe.

Tr N°	Dim. pouce	Long. (m)	Tec. (°C)	T ext (°C)	T diff (°C)	Q 1 (W/mK)	Q 2 (W/m)	Q tot (W)
1	5/4	6,5	60	20	40	0,177	7,08	46,02
2	1	12,0	60	20	40	0,155	6,20	74,40
3	3/4	16,0	60	30	30	0,136	4,08	65,28
4	1/2	16,0	60	30	30	0,121	3,63	58,08
5	1/2	12,0	60	20	40	0,121	4,84	58,08
6	3/4	7,0	60	20	40	0,136	5,44	38,08
Tot. L		69,5	Total des pertes thermiques (W)					340

Tableau 5.2.4.4 : Calcul des pertes thermiques pour détermination de la chute de température entre aller et retour.

Chute de température
La chute de température résulte de :

– pertes thermiques totales de la conduite de circulation ;
– débit total.

Comme point de référence pour de petites et moyennes installations bien isolées thermiquement, on peut se baser sur un refroidissement d'environ 0,1 K pour 10 m de conduite. Pour une installation avec conduite de circulation de 100 m (aller et retour), on aura donc une chute de température de 1 K.

Formule pour le calcul de la chute de température :

$$\left[T\,\text{diff} = \frac{Q\,\text{total}}{\text{Débit} \times c} = \frac{\text{J/s}}{(\text{kg/s}) \times (\text{J/kg K})} = \frac{\text{J s kg K}}{\text{kg s J}} = \text{K} \right]$$

$$\frac{340\ (\text{J/s})}{0{,}1608\ (\text{kg/s}) \times 4130\ (\text{J/kg K})} = 0{,}512\ \text{K}$$

Calcul 5.2.4.5 : Calcul de la chute de température entre l'aller et le retour.

6. Post-traitement de l'eau

6.1 Généralités 87
6.1.1 Raisons justifiant un post-traitement 87
6.1.2 Analyse de l'eau 87
6.1.3 Notions fondamentales 87
6.1.4 Appréciation simplifiée 89

6.2 Procédés de post-traitement de l'eau 90
6.2.1 Principe 90
6.2.2 Aperçu des procédés de post-traitement de l'eau 90
6.2.3 Procédés physiques 91
6.2.4 Installations de dosage 91
6.2.5 Installation d'adoucissement 91
6.2.6 Installation de déminéralisation 92
6.2.7 Résumé 92

6. Post-traitement de l'eau

6.1 Généralités

6.1.1 Raisons justifiant un post-traitement

L'eau de pluie, à l'origine de toute eau de boisson, dissout, en traversant l'atmosphère, une partie des gaz contenus dans l'air, comme l'oxygène, le dioxyde de carbone, le dioxyde de soufre, et de ce fait devient acide, donc agressive et corrosive.

Au cours de son ruissellement à la surface du sol ou de sa migration à travers les couches de terrain, l'eau de pluie, du fait de ses propriétés agressives et corrosives, attaque les roches, en dissout certains constituants et s'enrichit ainsi en matières inorganiques et organiques.

Les différents traitements de floculation, de filtration, d'ozonation et d'adsorption sur charbon actif, effectués dans les station de production d'eau de boisson permettent de réduire la teneur en certains constituants de l'eau brute, mais à grands frais.

Les phénomènes d'agressivité et les risques de corrosion mentionnés ci-dessus peuvent provoquer des précipitations gênantes de calcaire et restreindre le choix des matériaux.

La question d'un éventuel post-traitement de l'eau va finalement se poser, pour que la sécurité d'exploitation d'une installation, sa longévité et le maintien des qualités de l'eau puissent être garanties.

La nécessité d'introduire ou non un traitement de l'eau va dépendre des critères suivants :
- d'une analyse approfondie, faite par des spécialistes, des caractéristiques de l'eau ;
- des mesures préventives touchant à limiter la température de l'eau, au choix des matériaux et aux vitesses d'écoulement ;
- d'un montage de l'installation techniquement correct ;
- d'un respect des directives et des prescriptions officielles.

6.1.2 Analyse de l'eau

Une analyse de l'eau livrée pendant la plus grande partie de l'année peut être demandée au distributeur d'eau ou à un laboratoire compétent (Laboratoire cantonal, EMPA,...).

L'analyse de l'eau doit être récente (moins d'une demie année) et devrait comporter, en plus des valeurs moyennes, les valeurs de pointe ; elle doit entre autre porter sur les points suivants :

Dureté totale	Chlorure
Dureté carbonatée	Sulfate
Acide carbonique libre	Nitrate
Saturation en oxygène	pH
Conductivité	Température de l'échantillon

Tableau 6.1.2.1 : Constituants de l'eau.

6.1.3 Notions fondamentales

La dureté totale correspond à la somme de tous les cations bi- et trivalents, mais pratiquement seuls les ions calcium et magnésium entrent en ligne de compte. Ces ions sont liés principalement au dioxyde de carbone sous forme de bicarbonate, mais en partie aussi aux ions chlorure, sulfate et nitrate.

La dureté carbonatée, aussi appelée dureté passagère ou temporaire, correspond aux ions calcium et magnésium liés au dioxyde de carbone sous forme de bicarbonates. La valeur de la dureté carbonatée dépend principalement de la teneur en acide carbonique libre et dans une faible mesure de la salinité de l'eau. Par chauffage de l'eau, les conditions d'équilibre se modifient : lorsque la température de l'eau augmente, le déficit en acide carbonique augmente aussi, et les bicarbonates solubles se transforment en carbonates insolubles en cédant du dioxyde de carbone et de l'eau, jusqu'à ce qu'un nouvel équilibre s'établisse. Les carbonates précipitent sous forme de calcaire. La dureté carbonatée est fréquemment indiquée par la capacité acide Ks 4,3 (la valeur Ks 4,3 est égale à la dureté carbonatée en degrés français divisée par 5).

La dureté non carbonatée, aussi appelée dureté permanente, comprend les ions calcium et magnésium liés aux ions chlorure, sulfate, nitrate et silicate. Par chauffage, la limite de solubilité de ces sels dans l'eau peut être atteinte et la partie correspondant à la sursaturation va cristalliser

sous forme de « tartre » sur les surfaces fortement chauffées.

La salinité d'une eau comprend, outre les sels alcalino-terreux solubles (sels de calcium et de magnésium), aussi les sels alcalins tels que ceux de sodium et potassium, présents dans presque toutes les eaux. La somme des sels alcalins et alcalino-terreux correspond à la teneur en sels totale qui se divise en cations totaux et anions totaux.

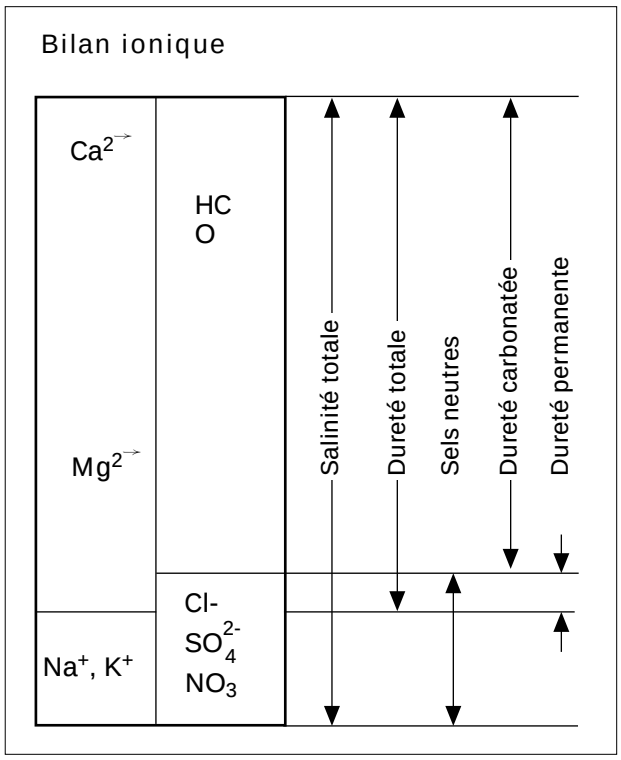


Figure 6.1.3.1 : Bilan ionique.

Le pH est une mesure de la concentration en ions hydrogène (H +) et indique si l'eau présente un caractère acide (excès de ions H + par rapport aux ions OH-), neutre ou alcalin (excès de ions OH-).

Le pH d'une eau neutre évolue en fonction de la température et passe par exemple de 7,47 à 6,51 lorsque la température de l'eau passe de 0° C à 60° C. La valeur du pH est aussi dépendante de la dureté carbonatée de l'eau et de sa teneur en acide carbonique. Les eaux acides sont agressives, alors que les eaux alcalines, du fait de leur déficit en acide carbonique, ont tendance à précipiter du calcaire. Pour apprécier les possibilités de formation d'un film protecteur sur les surfaces métalliques, de même que les dangers de corrosion, on a récemment introduit ce que l'on appelle l'indice de saturation (IS). L'indice de saturation est égal, pour une eau donnée, à la différence existant entre le pH mesuré et le pH d'équilibre :

IS = 0 : eau à l'équilibre calco-carbonique.

IS > 0 : eau ayant tendance à déposer du calcaire.

IS < 0 : eau agressive au calcaire.

L'acide carbonique est réparti en acide carbonique libre et en acide carbonique chimiquement lié. A la dureté carbonatée correspond une certaine teneur en acide carbonique libre, appelée acide carbonique équilibrant. Tout acide carbonique est à priori agressif vis-à-vis des métaux. Lorsqu'une eau contient de l'acide carbonique en plus de l'acide carbonique équilibrant, cet acide carbonique est agressif face au calcaire, mais il peut aussi diminuer les risques de précipitation de calcaire lorsqu'on chauffe l'eau.

Le diagramme de Tillmans permet de saisir la relation existant entre les différentes formes d'acide carbonique.

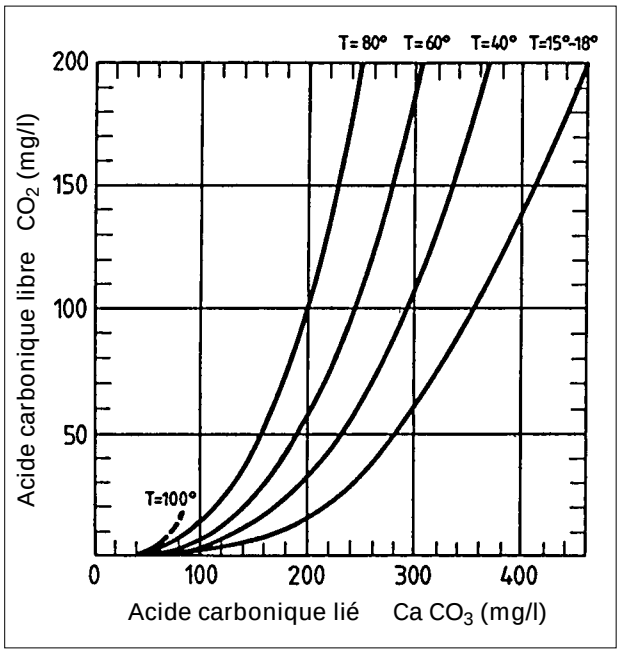


Figure 6.1.3.1 : Equilibre calcaire-acide carbonique selon Tillmans.

6.1.4 Appréciation simplifiée

L'appréciation fine des caractéristiques d'une eau au moyen d'une analyse détaillée pour déterminer son comportement corrosif ou entartrant ne peut être faite que par un spécialiste. On peut néanmoins, en se basant sur les valeurs limites pour quelques éléments critiques, procéder à une appréciation simplifiée.

Analyses types de quelques eaux suisses (selon les directives ASCV)

	Type 1, eau très douce		Type 2, eau douce		Type 3, eau moyennement dure		Type 4, eau dure	
	mg/l	° fH	mg/l	° fH	mg/l	° fH	mg/l	° fH
Dureté totale		2,5		15		25		40
Na		00,5		1		1,5		5
HCO_3		2		12,5		21,5		30
Cl, SO_4, NO_3		1		3,5		5		15
Si	3		3		3		3	
CO_2	10		10		15		25	
O_2	6		6		6		6	

Tableau 6.1.4.1 : Analyses types d'eaux suisses.

Appréciation simplifiée du risque de corrosion

Les valeurs-limites ou les fourchettes de valeurs-limites suivantes ne doivent être dépassées ni contre le haut ni contre le bas :

Matériau		Acier galvanisé	Cu	Acier CrNi	Acier au molybdène
pH		> 7,3 - < = 8,5			
Indice de saturation IS		> = 0 - < 0,25			
Chlorures Cl-	mg/l	< 40	< 60	< 100	< 150
Sulfates SO_4	mg/l	< 60	< 60	< 60	< 60
Nitrates NO_3	mg/l				
Sels neutres	mg/l	< 100	< 125	< 150	< 200
Oxygène O_2	mg/l	> 5 - < 10			

Tableau 6.1.4.2 : Appréciation simplifiée du risque de corrosion.

Appréciation simplifiée du risque de précipitation de calcaire
(eau chaude pour usage général):

Dureté carbonatée	Traitement
< 22	aucun
< 30	adoucissement partiel pour par exemple SI > 0.25
> 30	adoucissement partiel

Tableau 6.1.4.3: Appréciation simplifiée du risque de précipitation de calcaire.

Facteurs de conversion pour les degrés de dureté

Dureté totale	dH°	fH°	mol/m^3	mval/l
Degré allemand	1	1,79	0,179	0,357
Degré français	0,56	1	0,1	0,2
mol / m^3	5,6	10	1	2
mval / l	2,8	5	0,5	1

Tableau 6.1.4.4: Facteurs de conversion pour les degrés de dureté.

6.2 Procédés de post-traitement de l'eau

6.2.1 Principe

Devise:
Un post-traitement de l'eau ne doit être entrepris que s'il s'avère absolument indispensable.

Un post-traitement de l'eau ne doit être réalisé que pour un usager particulier et en cas de nécessité absolue, car, du fait de la forte salinité des eaux de régénération, de l'utilisation de produits chimiques, etc., il contribue à une augmentation générale de la salinité des eaux. Par ailleurs, il faut aussi prendre en considération la dépense énergétique et les frais d'investissement. Dans la pratique, on n'accorde souvent pas assez d'attention à la maintenance et au contrôle.

Recommandation:
Lorsqu'un post-traitement de l'eau n'est manifestement pas indispensable, il suffit de réserver pour le futur la place nécessaire et les possibilités de montage. De toute façon, une installation d'adoucissement ne doit être mise en service qu'au plus tôt après 6 à 12 mois d'exploitation, pour qu'une couche protectrice suffisante ait pu se former. Le contrôle du chauffe-eau et des tuyauteries témoins permet de tirer des conclusions sur la nécessité de monter et de mettre en service une installation d'adoucissement.

6.2.2 Aperçu des procédés de post-traitement de l'eau

Procédé	Aide pour	
	entartrage	corrosion
Procédé physique	●	
Inhibition (vaccination)	●	●
Adoucissement	●	
Déminéralisation partielle	●	
Déminéralisation totale	●	

Tableau 6.2.2.1: Aperçu des procédés.

Les chapitres suivants traitent des différents procédés utilisés en combinaison avec une installation de production d'eau chaude.

6.2.3 Procédés physiques

On trouve dans le commerce des systèmes avec ou sans utilisation de courant électrique. Le fonctionnement de ces installations est basé sur une action magnétique influençant l'eau ou modifiant sa structure. Dans différents cas, ces appareils travaillent de manière apparemment satisfaisante, bien qu'il ne soit pas toujours possible de juger de leur efficacité. On n'est pas encore parvenu à donner une explication scientifique à leur action.

L'installation d'un tel appareil ne devrait se faire qu'en s'entourant de garantie quant à son efficacité.

6.2.4 Installations de dosage (vaccination, inhibition de la corrosion)

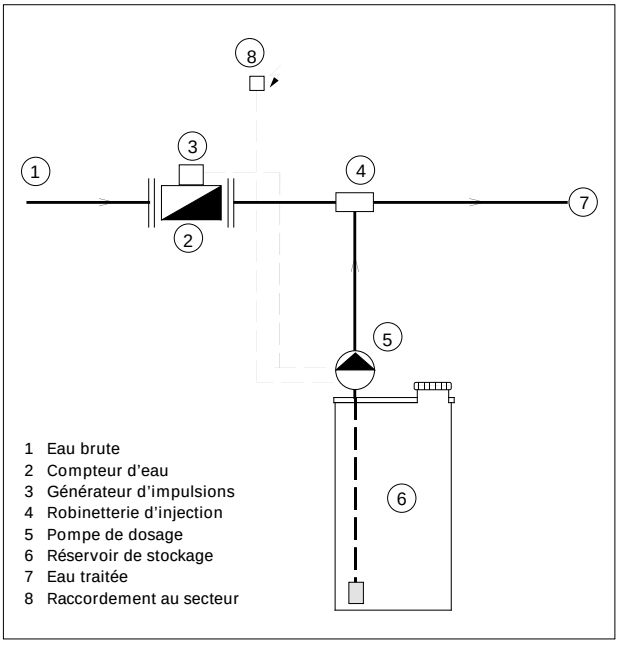


Figure 6.2.4.1 : Installation de dosage.

Il existe sur le marché différents produits chimiques pour empêcher la précipitation de calcaire et les phénomènes de corrosion.

Leur homologation et les concentrations maximales admissibles sont définies par l'Ordonnance sur le commerce des denrées alimentaires. Pour prévenir les risques de corrosion, il est recommandé et il peut même s'avérer nécessaire d'ajouter des inhibiteurs lors d'adoucissement total ou partiel. Le dosage s'effectue à l'aide de pompes asservies au débit d'eau. L'importance de ce dosage dépend de la composition du silicate de sodium, variable selon sa provenance, de même que des caractéristiques de l'eau et des conditions d'exploitation. Des contrôles effectués en cours d'exploitation (Mesure du pH, examen de tubes-témoins) permettront d'obtenir le réglage définitif.

6.2.5 Adoucissement

Au cours de l'adoucissement par échange d'ions, les ions bivalents de calcium et de magnésium sont remplacés par une quantité équivalente de ions sodium. Cette eau est complètement adoucie mais elle présente la même salinité, la même concentration en bicarbonate et pratiquement la même conductivité et le même pH que l'eau brute, avant traitement. On obtient le degré de dureté souhaité dans l'eau sanitaire par un mélange fixe d'eau brute totalement adoucie et d'eau brute non adoucie, pour autant que la composition de l'eau brute ne se modifie pas trop au cours du temps. Selon la qualité de l'eau, il peut s'avérer nécessaire de brancher une installation de dosage en aval.

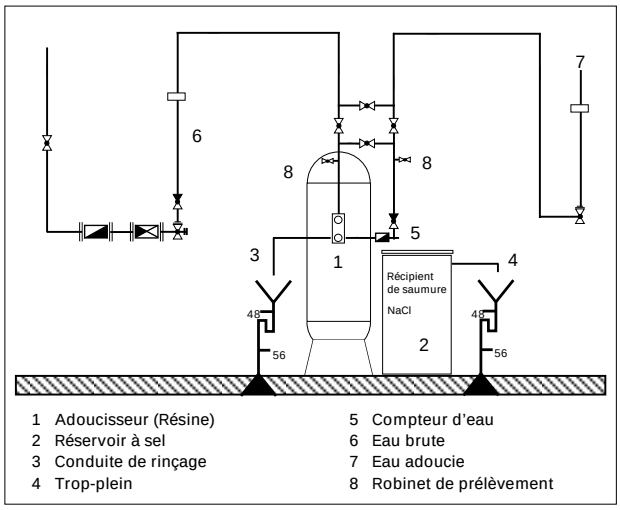


Figure 6.2.5.1 : Schéma d'une installation d'adoucissement.

Réalisation pratique des installations
Sur le plan technique, les installations d'adoucissement sont aujourd'hui généralement réalisées à l'aide de filtres en matière plastique renforcée de fibres de verre pour résister à la pression.

Cette construction éprouvée est disponible pour des débits d'eau allant jusqu'à environ 50 m^3 à l'heure. L'emploi d'ester polyvinylique, un peu plus coûteux, permet d'obtenir des installations plus résistantes que l'acier inoxydable vis-à-vis des acides, des bases et des oxydants forts.

Les installations plus importantes sont généralement réalisées sous forme d'installation duplex (Installations à deux colonnes). Pour des cas spéciaux où toute l'eau est chauffée simultanément (par exemple: pompe à chaleur, chaleur provenant d'un condensat,...), mais pour lesquels une partie seulement de l'eau doit être adoucie, il existe des installations d'adoucissement pouvant travailler à des températures d'environ 50° C.

Régulation automatique
La régénération des installation d'adoucissement est réglée automatiquement. La mise en route de la régénération basée sur la quantité d'eau adoucie produite est commandée par un compteur d'eau équipé d'un générateur d'impulsions et d'un compteur d'impulsions.

Pour des installations importantes ou lorsque l'eau brute présente des variations importantes de dureté, il est recommandé d'asservir la régénération à un appareil automatique de mesure de la dureté résiduelle, ce qui implique une bonne surveillance.

6.2.6 Installation de déminéralisation

Une installation de déminéralisation partielle ou complète pour la préparation d'eau chaude ne se justifie que dans des cas spéciaux (par exemple pour obtenir l'eau de rinçage préchauffée destinée aux machines à laver les verres). On consultera un spécialiste pour ces cas particuliers.

On trouvera dans la littérature spécialisée les renseignements relatifs à la conception et au fonctionnement de ce type d'installation.

6.2.7 Résumé

La composition de l'eau brute est un élément essentiel pour l'étude judicieuse d'une installation d'eau chaude.

Etapes à suivre:
(Critères susceptibles d'influencer la nécessité d'un post-traitement de l'eau)

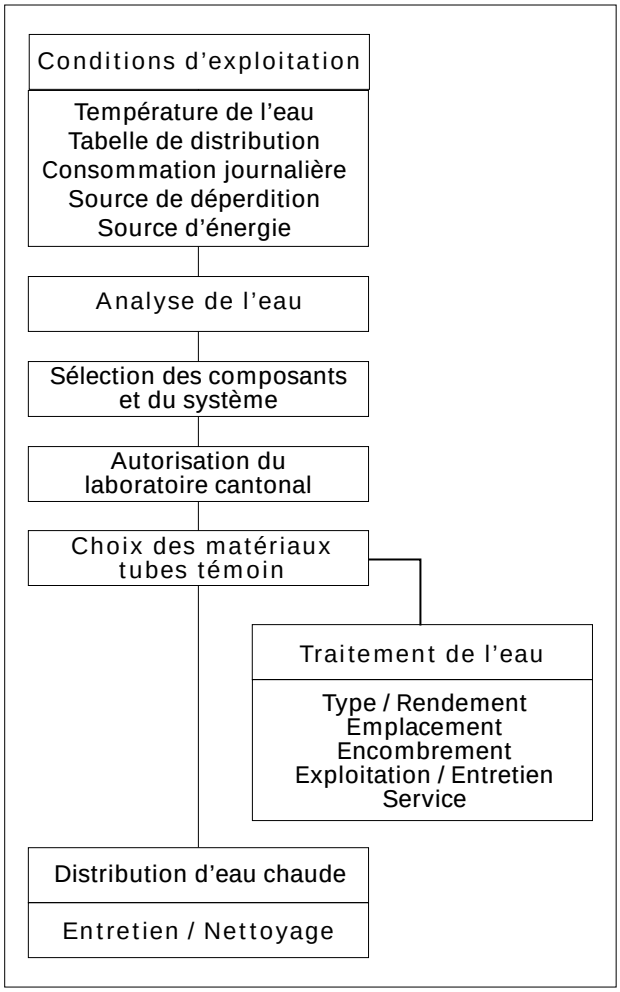


Figure 6.2.7.1: Représentation des phases opérationnelles.

S'il s'avère, après analyse approfondie et étude des variantes possibles, qu'un post-traitement de l'eau est nécessaire ou peut le devenir, on s'assurera, qu'en plus de l'emplacement exact et de l'aménagement de l'installation de post-traitement, les contrôles périodiques et la maintenance seront effectués.

7. Hygiène

7.1 Ordonnance sur le commerce des denrées alimentaires 95
7.1.1 Critères 95
7.1.2 Influences préjudiciables 96

7.2 Légionelles 96
7.2.1 Introduction 96
7.2.2 Risque pour la santé 97
7.2.3 Mesures préventives 97
7.2.4 Remarque finale 98

7. Hygiène

7.1 Ordonnance sur le commerce des denrées alimentaires

7.1.1 Critères

La loi sur le commerce des denrées alimentaires précise les exigences de qualité d'une eau de boisson. Les distributeurs d'eau de boisson sont tenus, sous leur propre responsabilité qui s'étend jusqu'au compteur d'entrée, de fournir de l'eau correspondant à ces exigences:

Art. 260 (ordonnance sur le commerce des denrées alimentaires):
L'eau de boisson doit, par son aspect, son odeur et son goût, de même que par sa composition chimique et bactériologique, satisfaire aux exigences générales de l'hygiène et en particulier à celles qui sont mentionnées dans le Manuel suisse des denrées alimentaires.

Dans son chapitre 27, le Manuel suisse définit les exigences physiques et chimiques de la denrée alimentaire qu'est l'eau. Voici quelques valeurs tirées de ce chapitre:

La qualité bactériologique de l'eau de boisson est, de loin, le principal critère. Certains virus et agents pathogènes bactériens provenant des excrétions des hommes et des animaux malades peuvent survivre pendant longtemps dans les eaux naturelles et par conséquent les contaminer. Les bactéries et les virus sont responsables de la plupart des maladies contractées par la consommation d'une eau non potable. Au premier groupe d'agents pathogènes appartiennent les salmonelles (fièvre typhoïde et paratyphoïde), les shigelles (dysenterie), les bacilles du choléra; dans le deuxième groupe, on rencontre de nombreux virus intestinaux et des virus responsables des hépatites.

La mise en évidence dans un échantillon d'eau des germes pathogènes et des virus est longue et difficile. C'est pour cette raison que l'analyse bactériologique de l'eau est basée principalement sur la recherche de la bactérie Escherichia coli, des bactéries coliformes et des entérocoques. Ces microorganismes sont présents en très grand nombre dans l'intestin de l'homme et des animaux à sang chaud, et leur détermination est relativement aisée. On admet que lorsqu'une eau est dépourvue de ces germes fécaux, elle ne contient pas non

Paramètre		Unité	Niveau guide	Valeur limite
1.1.1	Odeur	—	pas de valeur particulière	faible
1.1.2	Goût	—	pas de valeur particulière	faible
2.1	Température	°C	8 - 15	25
2.2	pH	—	7 - 8	9,2
2.4	Turbidité eau non traitée	TE/F	jusqu'à 0,5	1,0
	Turbidité après filtration	TE/F	jusqu'à 0,2	0,5
2.5	Couleur		incolore	
3.11	Calcium	mg Ca^2 +/l	40 - 100	
3.12	Magnésium	mg Mg^2 +/l	5 - 30	50
3.13	Fer	mg Fe^2 +/l	0,005	
3.15	Cuivre	mg Cu^2 +/l	0,05	1,5
3.16	Zinc	mg Zn^2 +/l	0,01	5,0
3.19	Cadmium	mg Cd^2 +/l	0,0005	0,005
4.2	Nitrites	mg NO_2 -/l	0,01	0,1
4.3	Nitrates	mg NO_3 -/l	25	40
4.4	Chlorures	mg Cl -/l	20	200

Tableau 7.1.1.1: Extrait du chapitre 27 du Manuel suisse des dentées alimentaires.

plus de micro-organismes pathogènes. Si la responsabilité de la qualité de l'eau jusqu'au compteur d'entrée appartient au distributeur, c'est l'abonné qui est responsable de la qualité pour la suite de l'installation. Les directives correspondantes sont contenues dans le cahier W3f de la SSIGE, cahier intitulé « Directives pour la réalisation des installations d'eau ». Ces directives traitent des points suivants :

– La détermination du diamètre des tuyauteries.
– Les exigences requises pour les matériaux.
– La disposition des installations.
– La robinetterie.

Bien évidemment, la loi sur le commerce des denrées alimentaires est valable pour le planificateur ou l'entreprise responsable.

7.1.2 Influences préjudiciables

La qualité hygiénique de l'eau est défavorablement influencée par les facteurs suivants :

- réchauffement de l'eau (amélioration des conditions de vie pour les bactéries) ;
- stagnation de l'eau (conduites peu ou pas utilisées) ;
- liaison avec des conduites d'eau usée (interdit) ;
- emploi de matériaux ne satisfaisant pas aux conditions de l'hygiène (homologation par la SSIGE indispensable) ;
- installations de post-traitement de l'eau.

Dans ce chapitre, l'influence d'un réchauffement de l'eau est spécialement traitée.

7.2 Légionelles

7.2.1 Introduction

La maladie du légionnaire a été décrite pour la première fois en 1977. C'est à la suite d'un congrès de l'American Legion, qui s'était tenu à Philadelphie l'année précédente, que 182 des 4000 participants ont présenté les symptômes de cette infection ; des 182 malades, 29 moururent. Des études sur les épidémies précédentes furent entreprises et les statistiques permirent de remonter jusqu'à 1965, et l'on pense même qu'il est possible de faire remonter le syndrome jusqu'en 1940.

En Suisse, on ne connaît jusqu'à aujourd'hui pas de manifestation épidémique de la « maladie du légionnaire ». La publication d'articles scientifiques a éveillé l'attention des milieux sanitaires professionnels, mais a aussi provoqué une grande incertitude. Le problème doit être analysé au plus haut niveau médical d'une part et d'autre part susciter une attitude fondamentalement nouvelle à l'égard de la partie constructive d'une installation de production d'eau chaude. En Suisse, il n'existe pour le moment qu'un rapport d'un groupe de travail mandaté par l'Office fédéral de la santé publique (OFSP). Les éléments qui suivent sont les éléments les plus importants tirés de ce rapport, qui date de 1989.

Depuis, quelques publications spécialisées ont paru, qui contredisent parfois le rapport de l'OFSP. Au cours de ces prochaines années, le problème dans son ensemble va devoir être étudié.

Objectif
Le thème « Légionelle » va être ici traité de manière telle que le spécialiste soit en mesure de transposer les connaissances actuelles concernant ce sujet au cours de l'étude d'une installation de production d'eau chaude. Il faut aussi le sensibiliser pour que son attention demeure éveillée

Origine des légionelles
Les légionelles font partie des micro-organismes présents dans les eaux naturelles. On les rencontre dans les différents types d'eaux naturelles tels que :
– eaux superficielles (rivières, lacs, marais) ;
– eaux de source (eaux froides et eaux chaudes) ;
– eau de pluie ;
– eau de nappes souterraines.

Elles sont souvent présentes dans les installations domestiques de distribution d'eau. Les légionelles se multiplient avant tout dans les eaux stagnantes. Une augmentation de la température de l'eau jusqu'à 45° C favorise leur développement, et ce n'est qu'à partir de 50° C que leur nombre commence à diminuer. Elles meurent rapidement à des températures supérieures à 60° C. Pour l'homme, un danger potentiel existe dans les systèmes domestiques fortement contaminés et si les légionelles se trouvent dans des aérosols (douches, whirlpools,...).

7.2.2 Risque pour la santé

Groupes à risque
Tous les individus ne sont pas également menacés. Cette constatation joue un rôle essentiel quant à l'analyse des mesures à prendre.

Risque élevé
Les individus malades et les personnes âgées appartiennent au groupe de risque n° 1; il en est de même pour les personnes soufrant d'affections pulmonaires chroniques ou dont le système immunitaire est affaibli.

Risque pour les personnes en bonne santé
Les adultes et les enfants en bonne santé ne sont en règle générale pas menacés. Pour les personnes plus âgées, et en particulier pour les fumeurs, il existe un risque limité. Des observations ponctuelles montrent que le personnel de service travaillant sur des installations sanitaires et de climatisation pourrait être potentiellement menacé. Pour les êtres humains, on ne connaît pas la grandeur de la dose minimale infectante, mais les différentes souches de légionelles ont vraisemblablement des effets différents.

Risques présentés par les installations techniques
Il est admis que les légionelles parviennent directement dans les installations techniques avec l'eau d'alimentation. Le facteur le plus favorable pour leur prolifération semble être la stagnation. La consommation pour la boisson d'eau contaminée par des légionelles n'est pas dangereuse. Seule une inhalation profonde d'aérosol formé de très petites particules et renfermant des légionelles peut déclencher la maladie. Il en résulte que toutes les installations techniques et tous les appareils susceptibles de donner naissance à des aérosols présentent un risque. Des aérosols peuvent se produire aussi lors de l'utilisation de douches ou de robinets projetant de l'eau dans les baignoires ou les lavabos. La température de l'eau dans les whirlpools, voisine de 35° C, peut favoriser la prolifération des légionelles. Les installations de climatisation telles que laveurs d'air, humidificateurs, etc., présentent également un risque.

7.2.3 Mesures préventives

Extrait du rapport de l'OFSP 1989
Les mesures préventives prises dans les installations domestiques ne doivent pas seulement viser à éviter la « maladie du légionnaire ». Pour toutes les installations, les principes généraux de l'hygiène doivent être respectés. Un entretien régulier de toutes les installations – les constructeurs doivent fournir à l'exploitant des plans d'entretien – fait partie des précautions importantes pour empêcher l'apparition de maladies. Pour empêcher de manière générale une prolifération des légionelles dans les bâtiments dans lesquels se trouvent des groupes à risque (malades, personnes âgées,...), en particulier dans les hôpitaux, les maisons de retraite et les hôtels, on prendra au niveau de l'étude, de la réalisation et de l'exploitation les mesures suivantes:

Mesures au niveau de l'étude
Au moment de l'étude, il faut établir une étroite collaboration entre les architectes, les ingénieurs en technique sanitaire, les entreprises, les autorités communales et cantonales. Comme on l'a déjà mentionné, on rencontre des légionelles partout, même dans l'eau de boisson. Sur le plan de l'hygiène, il n'existe un risque que dans un système dans lequel il y a prolifération et formation d'aérosol susceptible d'atteindre les poumons (douches, whirlpools). Lors de l'étude de constructions hospitalières, on veillera tout particulièrement aux points suivants:

Dans les accumulateurs d'eau chaude, la température doit être d'au moins 60° C, de manière à ce que la température de l'eau à chaque point de soutirage soit de 50° C. On optera de préférence pour des accumulateurs décentralisés. Dans le réseau de distribution, il faudra éviter de créer des zones « mortes » et prévoir un maximum de possibilités de purge.

Mesures pendant l'exécution de travaux
- Pendant les travaux de construction, mais aussi pendant les travaux de réparation ou de transformation, la température de l'eau reste souvent dans une zone peu favorable (inférieure à 45° C). Il faut donc procéder à une désinfection chimique ou thermique avant la mise en service d'une installation.

Mesures relatives à l'exploitation
- Dans les hôpitaux, les installations de climatisations conçues, réalisées et entretenues selon les directives 35 (1987) de l'ISH (Institut suisse de la santé publique et des hôpitaux) satisfont aux exigences requises. Pour d'autres ouvrages, on appliquera la norme SIA 382 (1989) «Installations de ventilation et de climatisation».
- Dans le domaine de l'eau chaude sanitaire, spécialement pour les grandes installations avec alimentation centrale, c'est la norme SIA 385/3 «Alimentation des bâtiments en eau chaude sanitaire» (1991) qui sera employée.
- Pour les whirlpools, les bains thermaux et thérapeutiques, on recourra à la norme SIA 385/1 «Qualité de l'eau et performance des installations de régénération de l'eau dans les piscines publiques» (1989) ainsi qu'à la norme complémentaire 385/11.
- Dans le cadre de la thérapie d'inhalation, les vaporisateurs et humidificateurs seront alimentés en eau stérile et régulièrement vidangés et entretenus. Pour les vaporisateurs à ultrasons, on s'assurera que les parties internes des appareils puissent être autoclavées.

Recommandation officielle de l'OFSP
On rencontre des légionelles partout, aussi bien dans la nature que dans les installations techniques. Il est irréaliste d'envisager une élimination complète de ces micro-organismes, c'est pourquoi ces recommandations visent à réduire le danger pour les personnes à risques (malades, vieillards). Les installations techniques des hôpitaux, des maison de retraite et des hôtels doivent être considérées en priorité.

Recommandations pour les autorités sanitaires
Chaque cas de légionellose doit être parfaitement élucidé pour déterminer la source possible d'infection et augmenter nos connaissances en matière de prévention. Il faut assurer une surveillance de la situation épidémiologique dans les cantons et dans toute la Confédération. Un contrôle de routine des installations techniques visant à mettre en évidence la présence de légionelles n'est pas recommandé.

Recommandations pour les concepteurs et les exploitants d'installations techniques dans les hôpitaux, maisons de retraite (EMS) et hôtels

Installations de ventilation
1. Installations destinées aux établissements hospitaliers seront construites, exploitées et entretenues selon les directives 35 de l'ISH (1987).
2. Pour les autres bâtiments, la norme SIA 382 «Installations de ventilation et de climatisation» sera appliquée.
3. Les appareils tels que laveurs d'air, humidificateurs à vaporisation, etc. seront régulièrement et soigneusement nettoyés selon les plans d'entretien correspondants.

Installations sanitaires
1. On appliquera la norme SIA 385/3 «Alimentation du bâtiment en eau chaude sanitaire».
2. La température de l'eau chaude dans les accumulateurs sera de 60° C au minimum et de 50° C au minimum aux points de soutirage.
3. On encouragera l'utilisation d'installations d'eau chaude décentralisées.
4. On évitera de créer des «bras morts» dans le réseau de distribution et on garantira un maximum de possibilités de purge.
5. Tous les accumulateurs d'eau chaude seront vidés et nettoyés régulièrement (selon les plans d'entretien).

Whirlpools
1. On appliquera la norme SIA 385/1 «Qualité de l'eau et performance des installations de régénération de l'eau dans les piscines publiques».
2. L'eau en tous temps présentera une teneur en chlore libre de 0,7 à 1,0 mg par litre.

7.2.4 Remarque finale

A la lecture des articles paraissant dans les revues spécialisées, il apparaît que presque chaque semaine apporte son lot de connaissances nouvelles sur les légionelles. Actuellement, nous disposons d'une part de recommandations claires sur les groupes à risques, mais d'autre part c'est notre propre capacité de jugement qui doit nous dicter toutes les mesures à prendre.

8. Exploitation et entretien

8.1 Appareils 101
8.1.1 Contrôles 101
8.1.2 Détartrage 101
8.1.3 Anodes 101
8.1.4 Température 102

8.2 Conduites de distribution 102
8.2.1 Isolation 102
8.2.2 Rinçages 102

8.3 Robinetterie 102
8.3.1 Circulateurs 102
8.3.2 Robinetterie d'arrêt 102
8.3.3 Robinetterie de puisage 102

8. Exploitation et entretien

8.1 Appareils

8.1.1 Contrôles

Pendant la première année de service
Lors de la mise en service, on vérifiera la fonction de commutation du thermostat. Même si le réglage d'origine est de 60° C, on vérifiera la température. On déterminera en outre la température désirée avec l'utilisateur.

La température peut se mesurer d'une part sur le thermomètre du boiler (s'il en existe un) et d'autre part sur le point de soutirage le plus proche du chauffe-eau (robinetterie de puisage) au moyen d'un thermomètre. On tiendra compte des pertes des conduites. Un écart de température entre le réglage du thermostat, l'affichage de la température sur le boiler et la mesure de la température au robinet est normal ; il est surtout dû à la stratification régnant dans le réservoir au moment de la comparaison.

On vérifiera en outre le fonctionnement de la soupape de sûreté :
– bref soulagement du ressort de pression sur la vanne de sécurité (rinçage) ;
– contrôle visuel de la soupape de sûreté pour détecter si elle goutte au réchauffage de l'eau.

Après 1-2 années de service
– contrôle de l'entartrage du réservoir et des corps de chauffe ;
– contrôle de l'anode de protection en magnésium.

Pour procéder au contrôle du réservoir, déposer les fusibles, fermer les conduites d'eau froide (vanne d'arrêt), vidanger le chauffe-eau (robinet de vidange) et ouvrir un robinet d'eau chaude pour faire appel d'air.

Après avoir vidangé le chauffe-eau, démonter le capot de protection. Avant de démonter la flasque, déraccorder le thermostat et la mise à terre.

La batterie électrique peut maintenant être retiré du chauffe-eau. Bien noter sa position. Après avoir déposé la batterie, on pourra déposer et remplacer le joint d'étanchéité.

Le passage est maintenant libre pour contrôler la cuve intérieure.

8.1.2 Détartrage

Avec des chauffe-eau modernes à surfaces intérieures lisses et température de l'eau de 60° C au maximum, il se forme normalement peu de dépôt de calcaire à l'intérieur de la cuve.

Pour le détartrage, on procédera comme suit :
- Aspirer le calcaire au fond de la cuve avec un aspirateur.
- Brosser les parois du réservoir.
- Détacher le tartre de l'élément chauffant par un léger martèlement (par exemple avec un marteau en nylon) ou en grattant légèrement (tournevis, pas d'outil tranchant).
- Avant de procéder au remontage, nettoyer les deux surfaces d'étanchéité (siège du joint d'étanchéité sur la cuve intérieure et flasque).

On évitera absolument les détartrages chimiques, sauf exceptionnellement en l'absence d'une ouverture (flasque).

Selon la composition de l'eau et avec des températures supérieures à 60° C, les précipitations de calcaire dans l'eau augmentent massivement.

Pour réduire ces précipitations à un minimum et favoriser une exploitation optimale de l'énergie, la température de l'eau sera limitée à 60° C.

Un détartrage régulier (tous les 5 ans environ) du chauffe-eau est néanmoins nécessaire. La fréquence dépend de la qualité de l'eau (composition de celle-ci).

Les détartrages seront signalés par l'apposition d'une étiquette sur le chauffe-eau.

8.1.3 Anodes

Quand bien même la plupart des chauffe-eau couramment commercialisés sont revêtus d'une couche de protection, ils sont équipés en usine d'anodes en magnésium pour garantir une protection supplémentaire du matériau du réservoir.

Lors de chaque contrôle (voir 8.1.1), on vérifiera l'anode et on procédera au besoin à son remplacement.

Les anodes sont disponibles dans 2 versions:
1. anodes à tige;
2. anodes à chaîne.

On utilise des anodes à chaîne lorsque la place disponible dans la partie supérieure du chauffe-eau n'autorise pas l'introduction d'une anode à tige.

Lors de la mise en place de l'anode, on veillera à garantir un bon contact avec l'accumulateur (masse).

8.1.4 Température

En principe, la température du chauffe-eau est réglée sur 60° C. Comme la consommation d'énergie varie beaucoup en fonction de la température, il est conseillé de réduire la température au minimum. La valeur de consigne du thermostat doit être fixée et contrôlée lors de chaque contrôle conformément au chapitre 7.2.1.

8.2 Conduites de distribution

8.2.1 Isolation

Avec des bâtiments neufs, l'isolation thermique des conduites d'eau chaude de distribution devrait en principe être en ordre. Après un certain temps, des défauts de l'isolation thermique peuvent toutefois se traduire par des pertes thermiques, raison pour laquelle on procédera périodiquement à un contrôle visuel des conduites et de leur isolation.

Au besoin, on complétera ou on remplacera les zones endommagées.

8.2.2 Rinçages

Avec des installations d'eau chaude bien conçues, un bon rinçage est garanti par les soutirages. On évitera ou on éliminera des colonnes peu ou pas utilisées.

Les rinçages sous pression sont compliqués et coûteux. On les utilise principalement pour éliminer les produits de la corrosion dans les conduites. Ce mode de rinçage doit être planifié et contrôlé par un spécialiste. L'exécution d'un rinçage sous pression sera confié exclusivement à une entreprise spécialisée.

8.3 Robinetterie

8.3.1 Circulateurs

De nombreuses installations d'eau chaude pèchent par leur circulateur:
- puissance trop élevée;
- vitesse d'écoulement trop élevée;
  etc.

Avec de nouvelles installations dotées d'une bonne isolation thermique, le circulateur peut être calculé et installé selon chapitre 5. Un contrôle périodique est toutefois recommandé.

Avec des installations existantes, on peut dans la plupart des cas remplacer le circulateur existant par un modèle plus petit. En procédant à cette opération de substitution, on posera un organe de régulation et un clapet antiretour.

8.3.2 Robinetterie d'arrêt

La robinetterie d'arrêt sera vérifiée quant aux défauts suivants:
- étanchéité des joints;
- accessibilité;
- isolation thermique.

Si ces points sont en ordre, on ne rencontre normalement pas de problème avec la robinetterie d'arrêt.

8.3.3 Robinetterie de puisage

Une robinetterie de puisage qui goutte provoque des pertes d'eau et d'énergie qu'il ne faut pas sous-estimer. Une robinetterie qui n'est pas étanche sera donc immédiatement réparée.
Exception! Une robinetterie à écoulement libre goutte pendant le réchauffage.

Une robinetterie à débit trop élevée peut provoquer une consommation excessive. En l'occurrence, on vérifiera si
- une robinetterie sans contact,
- un mélangeur,
- une robinetterie normale,

n'est pas une solution plus économique en termes énergétiques.

Moyennant une bonne information, de telles mesures peuvent contribuer très efficacement à l'exploitation économique d'une installation.

9. Assainissement d'installations existantes

9.1 Généralités 105

9.2 Possibilités d'économie 105
9.2.1 Production de chaleur 105
9.2.2 Réseau de distribution 106
9.2.3 Robinetterie 106
9.2.4 Transformation d'une alimentation centrale en alimentation de groupes 107
9.2.5 Abaissement de la température 107
9.2.6 Economiser en réduisant la consommation 107

9. Assainissement d'installations existantes

9.1 Généralités

Dans le cadre d'opérations d'assainissement thermique et technique, c'est surtout l'approvisionnement en eau chaude qui représente un intérêt. Dans un ménage moyen, 10 à 30% de l'énergie totale consommée sont consacrés à la préparation d'eau chaude.

Comme pour le chauffage de locaux, il existe ici des possibilités d'économiser tant au niveau de la production de la chaleur qu'à celui de la distribution et de l'émission de cette chaleur. En matière d'eau chaude également, une adaptation exacte de l'offre à la demande et une limitation de la consommation inutile permet de réaliser de sensibles économies d'énergie.

9.2 Possibilités d'économie

9.2.1 Production de chaleur

Aujourd'hui encore, le chauffage d'eau potable est souvent lié à d'importantes pertes. De nos jours, on rencontre fréquemment en Suisse des chaudières combinées qui utilisent l'installation de chauffage central également pour la préparation d'eau chaude. En hiver, cette combinaison peut se révéler judicieuse. Dans l'entre-saison et surtout hors de la période de chauffage, une chaudière combinée peut toutefois occasionner des pertes de combustible inutiles. Il est donc recommandé de procéder à la préparation de l'eau chaude durant l'été indépendamment de l'installation de chauffage. Un chauffe-eau à accumulation séparé peut alors être nécessaire, respectivement le chauffe-eau combiné doit être dimensionné de manière à pouvoir préparer l'eau chaude en été avec de l'énergie électrique (charge nocturne).

Avant de découpler la préparation d'eau chaude de la chaudière en été, il est toutefois absolument nécessaire d'examiner le système de distribution d'eau chaude. Avec des systèmes à circulation, les pertes thermiques et l'influence hydraulique sont telles qu'un service basé uniquement sur un chauffe-eau électrique est impossible en été. Dans ce cas, il sera éventuellement nécessaire d'assainir le système de distribution (suppression du système de circulation et mise en place d'un ruban chauffant).

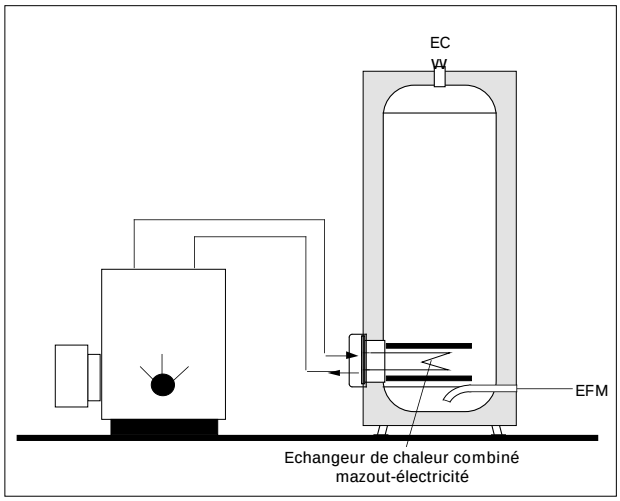


Figure 9.2.1.1: Installation moderne de préparation d'eau chaude.

9.2.2 Réseau de distribution

Les pertes dans un réseau de distribution d'eau chaude peuvent être considérables. Les conduites d'eau chaude doivent être traitées avec le même soin que l'accumulateur d'eau chaude.

Il est absolument indispensable de pouvoir compter sur une bonne isolation des conduites dans lesquelles circule constamment de l'eau chaude (système de circulation). Par rapport à des conduites mal isolées, il est possible de réaliser une économie sur les pertes pouvant atteindre 30%. La robinetterie joue également un rôle important et sera isolée en conséquence.

Avec des conduites de soutirage qui ne sont pas exagérément utilisées, l'isolation revêt moins d'importance. Elle ne procure des avantages que si les soutirages d'eau chaude interviennent à des intervalles d'une demi-heure au maximum ou moins.

S'il se passe des heures entre deux soutirages, ce qui est généralement le cas dans des immeubles d'habitation, l'eau engagée dans des conduites isolées se refroidit à tel point qu'il faut tout d'abord la soutirer. Il ne faut donc pas sans autre isoler des conduites apparentes ou montées dans les vides.

La mise en place ultérieure d'une isolation thermique n'est naturellement possible qu'avec des conduites facilement accessibles. Si les pertes thermiques de conduites encastrées sont trop importantes, on les remplacera par des nouvelles conduites. Comme cette opération peut se révéler très coûteuse, on préférera, en fonction des circonstances, mettre hors service certaines parties du système de circulation. Si la disposition des conduites le permet, on pourra par exemple dissocier les colonnes montantes dans des immeubles de deux ou trois étages. L'eau chaude ne circulera ainsi que dans les conduites du sous-sol, ou on pourra envisager la mise en place d'un ruban chauffant.

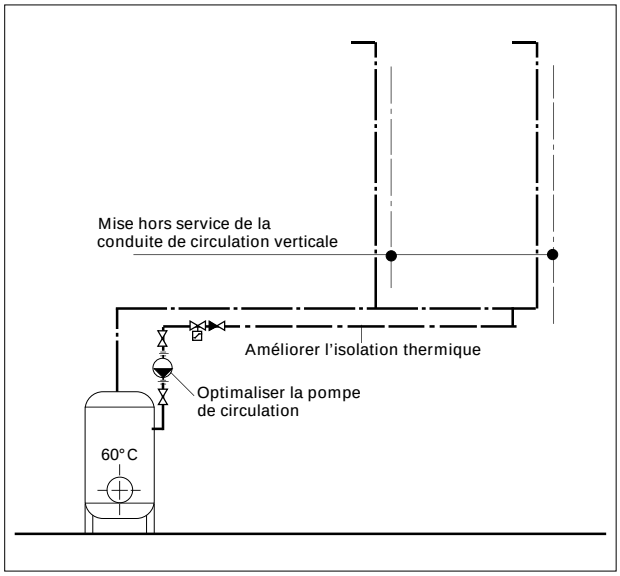


Figure 9.2.2.1 : Possibilité d'assainissement d'une circulation.

9.2.3 Robinetterie

On estime qu'en Suisse, 4 millions de mètres cubes d'eau et donc une quantité considérable de chaleur sont gaspillés chaque année par la faute de robinetteries inétanches.

Les débits d'anciennes robinetteries de puisage sont de 30 à 50% supérieurs à ceux de modèles modernes. Des robinetteries modernes permettent donc de réaliser des économies d'énergie thermique de l'ordre de 10 à 30%. Les investissements consentis peuvent ainsi s'amortir en 5 à 10 ans. S'ils sont correctement utilisés, les mélangeurs mécaniques ou thermiques modernes permettent en outre de régler la température désirée avec précision et donc d'économiser de l'énergie.

Les circulateurs seront isolés afin d'exploiter la chaleur dégagée par le moteur.

9.2.4 Transformation d'une distribution centrale en distribution par groupes

Dans des bâtiments avec alimentation centrale en eau chaude et différents points de soutirage à besoins relativement faibles (lavabos individuels dans bureaux, etc.), il peut être avantageux, selon les circonstances, de prévoir de petits chauffe-eau individuels. Cette solution pourra également se justifier en présence de conduites d'alimentation très longues.

En cas de rénovation totale d'une grande installation d'alimentation en eau chaude, il peut être indiqué de prévoir une alimentation individuelle ou par groupes. Cette solution se justifie surtout lorsque différentes températures de l'eau sont requises. Toute l'installation ne doit donc pas être conçue en fonction de la température la plus élevée, mais en fonction de la température désirée pour chaque groupe ou chaque point de soutirage.

9.2.5 Abaissement de la température

Les pertes thermiques provoquées par la distribution d'eau chaude peuvent en outre être réduites par abaissement de la température de l'eau chaude. Très souvent, les thermostats des chauffe-eau sont réglés à un niveau trop élevé. L'eau chaude sert prioritairement aux soins corporels. Comme des températures de plus de 40° C sont ressenties désagréablement par l'épiderme et présentent un risque de brûlure à plus de 60° C, la température de l'eau chaude au point de soutirage se situera entre 45 et 55° C. Avec des températures supérieures à 60° C, le risque d'entartrage et de corrosion augmente considérablement. En réduisant la température, les pertes thermiques dans l'accumulateur et les conduites diminuent. Un abaissement de la température de 10° C se traduit par une réduction des pertes thermiques de 10 à 20%.

9.2.6 Economiser en réduisant la consommation

Un décompte individuel peut également favoriser les économies d'eau chaude. On sait que dans un immeuble locatif avec alimentation centrale en eau chaude (sans compteurs), la consommation d'eau chaude est d'environ 25 à 30% supérieure à ce qu'elle serait si la décompte s'effectuait séparément par appartement. Si l'on ne tire pas un profit de la modération de sa consommation individuelle, on n'est guère incité à économiser.

L'Arrêté sur l'énergie AE a pour objectif de rendre le décompte individuel d'eau chaude obligatoire à partir de 5 utilisateurs, en vue d'économiser l'énergie.

Une utilisation économe de l'eau chaude peut en outre être favorisée par l'installation d'équipements de douche adéquats. Une douche nécessite approximativement trois fois moins d'eau qu'un bain. Même si l'on se douche plus souvent que l'on se baigne, on réalise encore une économie.

Avec une robinetterie de puisage à fermeture automatique dans des installations publiques, on peut faire en sorte de ne consommer que la quantité d'eau chaude effectivement nécessaire.

Toutes ces mesures d'économie n'ont toutefois un sens que si le chauffage de l'eau et le système de distribution peuvent également s'exploiter en économisant de l'énergie. Avec des systèmes de circulation mal isolés et des chaudières combinées à faible rendement, les quantités d'énergie gaspillées sur ces points faibles deviennent rapidement importantes – et tout à fait disproportionnées par rapport aux autres efforts d'économie consentis. Il est par exemple tout à fait ridicule d'exiger un comportement économe des locataires dans un immeuble locatif lorsque toute l'installation d'eau chaude est simultanément obsolète.

10. Rentabilité

10.1 Introduction 111

10.2 Questions possibles 111

10.3 Démarche en matière de calcul de rentabilité 112
10.3.1 Enoncé du problème 112
10.3.2 Coût d'investissement 113
10.3.3 Durée d'amortissement 113
10.3.4 Frais d'entretien et de maintenance (frais d'exploitation) 114
10.3.5 Coût de l'énergie 114
10.3.6 Taux d'intérêt / renchérissement 115

10.4 Calcul de rentabilité 116
10.4.1 Remarque finale 118

10. Rentabilité

10.1 Introduction

Comme différentes possibilités de préparer de l'eau chaude s'offrent au maître d'ouvrage, il faut également lui fournir des éléments d'appréciation. Un élément important en la matière est la rentabilité. Aujourd'hui déjà, on utilise parfois des programmes informatiques pour réaliser des calculs de rentabilité.

Le manuel «RAVEL se révèle payant» montre comment effectuer rapidement un calcul de rentabilité sans ordinateur. La méthode présentée (méthode dynamique des annuités) aboutit à des résultats précis. Sur la base d'un exemple, nous allons procéder ci-après à un tel calcul en nous penchant sur les problèmes particuliers spécifiques à la préparation d'eau chaude.

10.2 Questions possibles

Avec des bâtiments neufs et existants, les questions suivantes peuvent se poser aux concepteurs et maîtres d'ouvrage:

- Comparaison de systèmes: dans une situation donnée, quel est le système de préparation d'eau chaude le plus rentable, c'est-à-dire présentant le meilleur rapport qualité/prix?
- Analyse des mesures d'économie d'énergie: de telles mesures se justifient-elles?

D'un point de vue non seulement technique, mais aussi économique, on peut se poser les questions suivantes:

- Alimentation centrale ou décentralisée?
- Conduite individuelle avec ruban chauffant ou circulation?
- Chauffe-eau électrique ou avec pompe à chaleur?
- Chauffage de l'eau à l'électricité, au mazout ou au gaz?
- Mode d'exploitation monovalent (purement électrique ou au mazout/gaz) ou bivalent (électricité en été, mazout en hiver)?
- Faut-il utiliser un ou plusieurs chauffe-eau (alimentation individuelle ou centrale)?
- Faut-il remplacer le chauffe-eau existant par un chauffe-eau à pompe à chaleur?
- Faut-il conserver la circulation existante, la déclencher temporairement (par une horloge de commande) ou même la supprimer complètement?
- Faut-il remplacer le trop gros circulateur pour la circulation d'eau chaude par un nouveau circulateur plus petit?
- Faut-il remplacer l'accumulateur beaucoup trop gros par un plus petit, mais moderne?
- Faut-il abandonner le mode d'exploitation bivalent pour passer à un pur mode d'exploitation à l'électricité ou au mazout/gaz?
- Faut-il abandonner une alimentation centrale pour passer à une alimentation décentralisée?

10.3 Démarche en matière de calcul de rentabilité

Indépendamment du fait que le calcul de rentabilité soit effectué avec un programme informatique ou à la main, on tirera préalablement au clair les points suivants:

- formulation claire des questions;
- détermination du coût d'investissement;
- détermination de la durée d'utilisation;
- estimation des frais d'entretien et de maintenance;
- calcul du coût de l'énergie;
- détermination du taux d'intérêt et du renchérissement des prix.

Lorsque ces questions auront été tirées au clair, on pourra véritablement procéder au calcul de rentabilité.

10.3.1 Enoncé du problème

Quels systèmes faut-il comparer? Quelles mesures d'économie faut-il examiner?:

- Dans une première phase, le problème sera brièvement exposé.
- Dans une phase suivante, on présentera les différentes alternatives ou possibilités d'économie d'énergie, à savoir par exemple au moyen d'un schéma de principe, d'un diagramme des flux énergétiques ou d'un descriptif.
- Dans une dernière phase, on établira les principales indications techniques pour chaque alternative, à savoir par exemple type du chauffe-eau, contenance de l'accumulateur, données de puissance, mode d'exploitation, consommation d'énergie, etc.

Exemple:

Enoncé du problème:

Il faut remplacer le chauffe-eau électrique central défectueux d'une villa familiale de $5^1/_2$ pièces avec chauffage au mazout. Le maître d'ouvrage veut examiner la rentabilité des trois possibilités suivantes (il faudrait éventuellement encore tenir compte de la couverture des demandes de pointe électriques):

1. Chauffe-eau électrique à mode d'exploitation monovalent, c'est-à-dire que l'eau chaude est toujours préparée d'une manière purement électrique.
2. Chauffe-eau électrique à mode d'exploitation bivalent, électricité en été, réchauffage par la chaudière au mazout en hiver.
3. Chauffe-eau à registre pour réchauffage au mazout durant toute l'année.

Indications techniques:

On part des hypothèses suivantes pour les trois variantes:

- Besoins théoriques de pointe:
  5 personnes à raison de 50 l/60°C = 250 l/60° C
- Contenance du chauffe-eau
  électrique ou bivalent = 250 l
- Contenance du chauffe-eau
  à registre = 150 l
- Besoins journaliers moyens:
  5 personnes à raison de 35 l/60° C = 175 l/60° C
- Nombre de jours d'utilisation:
  365-40 jours (absences) = 325 jours
- Consommation annuelle:
  325 x 175 l/60°C = 57 000 l/60° C
- Consommation annuelle d'énergie utile:
  57 000 x 4,187 x (60 – 10)/1000 = 11 933 MJ/an

	Consommation d'énergie utile MJ/an (puissance)		Rendement		Consommation d'énergie finale MJ/an (charge)	
	Eté	Hiver	Eté	Hiver	Electricité	Mazout
1re variante	3978	7955	0,85 (électricité)	0,85 (électricité)	14 039	0
2e variante	3978	7955	0,85 (électricité)	0,72 (mazout)	4680	11 048
3e variante	3978	7955	0,55 (mazout)	0,72 (mazout)	0	18 281

Tableau 10.3.1.1 : Consommation d'énergie.

10.3.2 Coût d'investissement

Pour de petits objets, il faut souvent estimer le coût d'investissement sur la base de valeurs empiriques. Cette estimation nécessite une grande expérience et ne devrait être réalisée que par des spécialistes.

Pour de grands objets, il est indispensable d'avoir recours à une projection de l'installation et une calculation des coûts.

On tiendra compte des facteurs suivants :

- installation sanitaire ;
- installation électrique ;
- installations de chauffage ;
- travaux de construction ;
- honoraires.

Exemple :
Dans notre exemple, le coût d'investissement à définir pourrait être le suivant :

Coût d'investissement :

1re variante : 4000 francs
2e variante : 7000 francs
3e variante : 5000 francs

10.3.3 Durée d'amortissement

Normalement, la durée d'amortissement peut se définir sur la base de tableaux ou des indications des fournisseurs. Souvent, elle est aussi prescrite par les commettants, notamment s'il s'agit de grandes entreprises industrielles ou du secteur tertiaire.

Partie de l'installation	Durée d'amortissement en années	Frais d'entretien et de maintenance en %
Chauffe-eau électrique	15	2
Chauffe-eau à gaz	15	3
Chauffe-eau à registre	15	2
Chauffe-eau avec pompe à chaleur	15	3
Petit groupe de couplage chaleur-force (gaz naturel)	15	7
Installation solaire	20	2
Conduites d'eau froide	40	1
Conduites d'eau chaude	25	2

Tableau 10.3.3.1 : Extrait du tableau de la durée d'amortissement.

Dans des conditions favorables et moyennant un entretien approprié, la durée de vie effective d'une installation ou d'une partie d'installation peut être supérieure à celle indiquée dans le tableau. Inversement, la durée de vie effective peut aussi être considérablement inférieure à celle indiquée dans le tableau à la suite d'une erreur ou d'un vice au niveau du matériau, de la préfabrication, du montage ou de l'étude.

Exemple :
Pour nos trois variantes, nous pouvons admettre une durée d'amortissement de 15 ans.

10.3.4 Frais d'entretien et de maintenance (frais d'exploitation)

Les frais annuels d'entretien et de maintenance (ou frais d'exploitation, sans le coût de l'énergie) comprennent les charges salariales ainsi que le coût du matériel de maintenance et d'entretien (y compris service, nettoyage et surveillance). Parfois, il faut encore tenir compte de primes d'assurance et de frais administratifs. Les frais d'entretien et de maintenance peuvent être déterminés à l'aide des indications des fabricants ou des contrats d'entretien. Pour une première estimation, on peut également se baser sur des valeurs empiriques qui permettront de les déterminer à partir des investissements consentis (voir tableau 10.3.3.1).

Exemple :

Frais d'entretien et de maintenance :

1re variante : 4 % de 4000 francs = 160 Fr./an
2e variante : 4 % de 7000 francs = 280 Fr./an
3e variante : 4 % de 5000 francs = 200 Fr./an

10.3.5 Coût de l'énergie

Le coût annuel de l'énergie est déterminé à partir de la consommation prévue et du prix de l'énergie. On n'oubliera pas les taxes de base éventuelles pour les vecteurs énergétiques liés à des réseaux de distribution.

Le prix du mazout fluctue et dépend de la quantité achetée. De plus, les prix du mazout et du bois diffèrent aussi régionalement. Les prix de l'électricité, du gaz naturel et du chauffage à distance, vecteurs énergétiques liés à des réseaux de distribution, varient fortement entre les différentes sociétés distributrices. Pour le gaz naturel et la chaleur à distance en particulier, il existe de plus des tarifs spéciaux pour livraisons interruptibles.

Comme les prix de l'énergie varient constamment, ils seront donc relevés à leur dernier cours pour chaque calcul de rentabilité

Exemple :
Le prix du mazout se situe à Fr. 45. – pour 100 kg. Pour le prix de l'électricité, le bas tarif est déterminant, car le chauffe-eau se charge pendant la nuit ; tarif électrique, bas tarif = ~10 centimes/kWh.

Coût annuel de l'énergie :

1re variante :
14 039/3,6 x 0,1 = 390 Fr./an

2e variante :
4678/3,6 x 0,1 + 11048/42,7/100 x 45 = 246 Fr./an

3e variante :
18 281/42,7/100 x 45 = 193 Fr./an

Vecteur énergétique	Gros consommateur (moyenne tension pour l'électricité)		Petit consommateur (basse tension pour l'électricité)
	Prix à la puissance	Prix au travail	(év. prix de base en sus)
Huile de chauffage EL	100 Fr./kW + an	40 Fr./100 kg	45 Fr./100 kg
Electricité haut tarif (HT) hiver		12 ct./kWh	20 ct./kWh
Electricité haut tarif (HT) été		9 ct./kWh	
Electricité bas tarif (BT) hiver		8 ct./kWh	10 ct./kWh
Electricité bas tarif (BT) été		6 ct./kWh	
Gaz naturel (prix de base ou de prestation compris dans prix travail)		3,5 ct./kWh	4,5 ct./kWh
Chaleur à distance (prix de base ou de prestation compris dans prix travail)		5 ct./kWh	7 ct./kWh
Copeaux de bois: bois feuillu frais (teneur en eau jusqu'à 45 %), env. 40 Fr. par m^3 pour copeaux en vrac			
Bois en stères: fraîchement bûché, env. 60 Fr. par stère			

Tableau 10.3.5.1 : Prix moyens de l'énergie en 1991.

10.3.6 Taux d'intérêt/renchérissement

Le manuel «RAVEL se révèle payant» indique quelles valeurs réalistes utiliser pour les taux d'intérêt et de renchérissement du coût de l'énergie et les frais d'exploitation. Toutefois, le commettant prescrit souvent lui-même certaines valeurs. Si l'on calcule avec un taux hypothécaire nominal (par exemple 7%), il est important d'admettre également une augmentation des prix pour les autres grandeurs. Normalement, on détermine tout d'abord le taux d'inflation qui, à très long terme, se situe 2 à 3% au-dessous du taux hypothécaire (soit un taux d'inflation d'environ 4% pour un taux hypothécaire de 7%).

Exemple:
Le commettant désire que l'on calcule avec son taux hypothécaire, car il désire financer l'investissement par une augmentation de l'hypothèque. Si le taux hypothécaire nominal est de 7%, le taux d'inflation sera de 4%. On admet en outre que le prix du mazout augmente proportionnellement davantage que l'inflation générale, soit 7%. Pendant les heures à bas tarif hivernal de l'électricité, l'augmentation est encore plus forte. On compte avec une augmentation annuelle de 7,5%. Il en va autrement pour les heures à bas tarif estival; ici, on peut compter avec une augmentation réelle qui se situe nettement au-dessous du taux d'inflation de 4%. On aura donc une augmentation de prix pour le bas tarif estival de 1%. Les tableaux suivants présentent des hypothèses courantes en matière d'augmentation de prix.

Taux de calcul des intérêts	Dans le secteur du logement: taux d'inflation + 2,0% à max. + 3,0% Dans le secteur tertiaire, des arts et métiers et de l'industrie: taux d'inflation + 2,5% à max. + 3,5% Processus de production (+ 1% à + 2% en sus): taux d'inflation + 3,5% à max. + 5,5%		
Durée d'amortissement	Selon valeurs empiriques du tableau 10.3.3.1, page 113 Indications des fabricants Durée d'amortissement du processus de production Directives du commettant		
Frais d'exploitation	Selon valeurs empiriques du tableau 10.3.3.1, page 113 Indications des fabricants/contrats d'entretien		
	minimum	moyen	maximum
Augmentation annuelle des frais d'exploitation	Taux d'inflation	Taux d'inflation + 1%	Taux d'inflation + 2%
Augmentation du coût de l'énergie par année			
Electricité: niveau tarifaire moyen	Taux d'inflation	Taux d'inflation + 1%	Taux d'inflation + 2%
Electricité: BT hiver (chauffage)	Taux d'inflation + 2%	Taux d'inflation + 3,5%	Taux d'inflation + 5%
Huile de chauffage EL	Taux d'inflation	Taux d'inflation + 2%	Taux d'inflation + 4%
Gaz naturel	Taux d'inflation	Taux d'inflation + 1,5%	Taux d'inflation + 3%
Chauffage à distance	Taux d'inflation	Taux d'inflation + 1%	Taux d'inflation + 2%
Bois	Taux d'inflation	Taux d'inflation	Taux d'inflation

Tableau 10.3.6.2: Aperçu des données fondamentales.

	minimum	moyen	maximum
Augmentation annuelle des frais d'exploitation	4%	5%	6%
Augmentation annuelle du coût de l'énergie			
Electricité: niveau tarifaire moyen	4%	5%	6%
Electricité: BT hiver (chauffage)	6%	7,5%	9%
Huile de chauffage EL	4%	6%	8%
Gaz naturel	4%	5,5%	7%
Chauffage à distance	4%	5%	6%
Bois	4%	4%	4%

Tableau 10.3.6.3: Données fondamentales avec taux d'inflation de 4%.

10.4 Calcul de rentabilité

Voici un exemple de la manière de calculer la rentabilité des trois variantes :
(taxes, impôts, énergie grise ne sont pas pris en compte)

Données économiques fondamentales — *Variante 1 – chauffe-eau purement électrique*

Taux de calcul des intérêts :		nominal =	7,0%
Augmentation des frais d'exploitation :		nominal =	5,0%
Augmentation du coût de l'énergie :	électricité BT hiver	nominal =	7,5%
	électricité BT été	nominal =	2,0%

Coût annuel du capital

Partie considérée	Dépense d'investissement	Durée d'amortissement	Facteur d'annuité	Coût annuel du capital
Chauffe-eau	Fr. 4000. –	15 ans	0,1098	Fr. 439. –
Total	Fr. 4000. –			Fr. 439. –

Frais annuels d'exploitation

Partie considérée	Valeur de l'installation	Frais annuels d'entretien et de maintenance en % de la valeur de l'installation	Frais annuels d'exploitation
Chauffe-eau	Fr. 4000. –	2%	Fr. 80. –
Total			Fr. 80. –

Coût énergétique annuel

Vecteur énergétique	Taxe annuelle de base (prix de base, prix prestation)	Consommation	Coût spécifique	Coût annuel de l'énergie
Electricité BT hiver		2235 kWh/an	10 ct./kWh	Fr. 224 –
Electricité BT été		1118 kWh/an	10 ct./kWh	Fr. 112.–
Total				Fr. 336. –

Total des coûts annuels moyens

	Facteur moyen, durée d'amortissement 15 ans	Coût annuel	Coût annuel moyen sur durée d'amortissement
Coût du capital		Fr. 439. –	Fr. 439. –
Frais d'exploitation	1,44	Fr. 80. –	Fr. 115. –
Electricité BT hiver	1,75	Fr. 224. –	Fr. 392. –
Electricité BT été	1,16	Fr. 112. –	Fr. 130. –
Total			Fr. 1076. –

Données économiques fondamentales *Variante 2 – chauffe-eau bivalent électricité/mazout*

Taux de calcul des intérêts:		nominal =	7,0%
Augmentation des frais d'exploitation:		nominal =	5,0%
Augmentation du coût de l'énergie:	électricité BT hiver	nominal =	7,5%
	électricité BT été	nominal =	2,0%
	mazout EL	nominal =	7,0%

Coût annuel du capital

Partie considérée	Dépense d'investissement	Durée d'amortissement	Facteur d'annuité	Coût annuel du capital
Chauffe-eau	Fr. 7000. –	15 ans	0,1098	Fr. 770. –
Total	Fr. 7000. –			Fr. 770. –

Frais annuels d'exploitation

Partie considérée	Valeur de l'installation	Frais annuels d'entretien et de maintenance en % de la valeur de l'installation	Frais annuels d'exploitation
Chauffe-eau	Fr. 7000. –	2,5%	Fr. 175. –
Total			Fr. 175. –

Coût énergétique annuel

Vecteur énergétique	Taxe annuelle de base (prix de base, prix prestation)	Consommation	Coût spécifique	Coût annuel de l'énergie
Electricité BT été		1118 kWh/an	10 ct./kWh	Fr. 112. –
Mazout EL		257 kg	45 Fr./100 kg	Fr. 116.–
Total				Fr. 228. –

Total des coûts annuels moyens

	Facteur moyen, durée d'amortissement 15 ans	Coût annuel	Coût annuel moyen sur durée d'amortissement
Coût du capital		Fr. 512. –	Fr. 770. –
Frais d'exploitation	1,44	Fr. 175. –	Fr. 252. –
Electricité BT été	1,16	Fr. 112. –	Fr. 130. –
Mazout EL	1,69	Fr. 116. –	Fr. 196. –
Total			Fr. 1348. –

Données économiques fondamentales *Variante 3 – chauffe-eau mazout seul*

Taux de calcu des intérêts:		nominal =	7,0%
Augmentation des frais d'exploitation:		nominal =	5,0%
Augmentation du coût de l'énergie:	électricité BT hiver	nominal =	7,5%
	électricité BT été	nominal =	2,0%
	mazout EL	nominal =	7,0%

Coût annuel du capital

Partie considérée	Dépense d'investissement	Durée d'amortissement	Facteur d'annuité	Coût annuel du capital
Chauffe-eau	Fr. 5000. –	15 ans	0,1098	Fr. 549. –
Total	Fr. 5000. –			Fr. 549. –

Frais annuels d'exploitation

Partie considérée	Valeur de l'installation	Frais annuels d'entretien et de maintenance en % de la valeur de l'installation	Frais annuels d'exploitation
Chauffe-eau	Fr. 5000. –	3%	Fr. 150. –
Total			Fr. 150. –

Coût annuel de l'énergie

Vecteur énergétique	Taxe annuelle de base (prix de base, prix prestation)	Consommation	Coût spécifique	Coût annuel de l'énergie
Huile de chauffage EL		426 kg	45 Fr./100 kg	Fr. 192.–
Total				Fr. 192. –

Total des coûts annuels moyens

	Facteur moyen, durée d'amortissement 15 ans	Coût annuel	Coût annuel moyen sur durée d'amortissement
Coût du capital		Fr. 549. –	Fr. 549. –
Frais d'exploitation	1,44	Fr. 150. –	Fr. 216. –
Huile de chauffage EL	1,69	Fr. 192. –	Fr. 324. –
Total			Fr. 1089. –

10.4.1 Remarque finale

Le calcul de rentabilité fournit un résultat purement économique. Il est important de réaliser finalement une analyse de sensitivité pour déterminer comment varie le délai de remboursement d'une mesure d'économie d'énergie si:

- le prix du mazout n'augmente que de 2% au lieu de 4%?
- le taux de calcul choisi est de 1% supérieur?
- la durée d'amortissement est raccourcie de 5ans?

On examinera en outre les aspects écologiques et on calculera éventuellement la consommation d'énergie primaire.

11. Exemples

11.1	Généralités	121
11.2	Pompe à chaleur dans une villa familiale	121
11.3	Production d'eau chaude bivalente par chauffe-eau encastré dans une armoire	122
11.4	Calcul-type des économies réalisées par coupure de la circulation	125
11.5	Comparaison des besoins énergétiques	127
11.6	Comparaison ruban chauffant et circulation	128

11. Exemples

11.1 Généralités

Ce chapitre ne prétend pas mettre en évidence des calculs comparatifs et d'économie «scientifiquement exacts», mais présenter, sous forme de calculs comparatifs approximatifs, les possibilités qui s'offrent ou pourraient s'offrir au travers de différentes réalisations.

11.2 Pompe à chaleur dans une villa familiale

Description de l'objet :
Grande villa familiale pour 2 générations
Nombre d'occupants : 6 – 7 personnes
Système de chauffage : pompe à chaleur eau-eau

Besoins en eau chaude :
Besoins théoriques de pointe par jour pour le dimensionnement du chauffe-eau

2 baignoires	=	150 l/60° C/d
4 douches	=	120 l/60° C/d
2 cuisines	=	40 l/60° C/d
En général (nettoyage, etc.)	=	50 l/60° C/d
Besoins en eau chaude environ		360 l/60° C/d

Contenance du chauffe-eau
Comme il faut compter avec une température utile de l'eau chaude de max. 50° C avec une pompe à chaleur, la contenance du chauffe-eau sera adaptée pour cette température:

$$V = 360 \times (60 - 10) / (50 - 10) = 450$$

Comme il s'agit d'une très grande maison qui pourrait subir des aménagements (sauna, etc.), on opte pour un accumulateur d'une capacité de 500 litres.

Besoins journaliers moyens
7 personnes à raison de 35 l/60° C =
245 l/60° C par jour

Nombre de jours d'utilisation =
365 – 40 (absences) = 325 jours

Consommation annuelle =
325 x 245 l = ~ 80 000 l/60° C

Besoins annuels en énergie

$$QA\,(50^\circ C) = \frac{80\,000 \times 4{,}187 \times (50-10)}{3600} = 3721\,kWh$$

Dépense avec pompe à chaleur

$$QA\,(50°\,C) = \frac{3721\,kWh}{Coefficient\ 3\ (PAC)} = 1240\,kWh$$

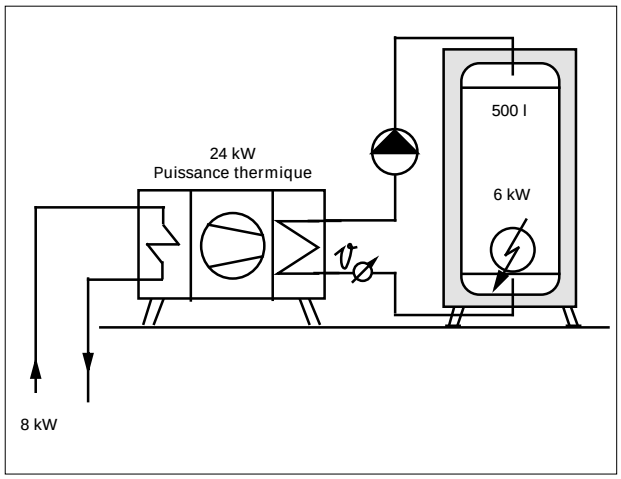
QA pour pompe nappe souterraine ~ = 800 kWh

Chauffage résiduel par une batterie électrique à 60° C

$$QA\,(EL) = \frac{80\,000 \times 4{,}187 \times 10}{3600} = 930\,kWh$$

Consommation totale avec la pompe pompe à chaleur ~	=	2970 kWh
Consommation pour un réchauffage purement électrique	=	4651 kWh
Economie	=	36 %

Ce mode de calcul suffit pour vérifier une évaluation grossière du système.



Représentation schématique de l'exemple 11.2.1.

11.3 Production d'eau chaude bivalente par chauffe-eau encastré dans une armoire

Introduction

La préparation d'eau chaude centralisée dans un locatif nécessite presque toujours une conduite de circulation, ce qui implique des pertes de circulation. Un décompte individuel des frais, dont on sait par expérience qu'il contribue beaucoup à une consommation économe de l'eau chaude, n'est possible qu'au prix d'un investissement important.

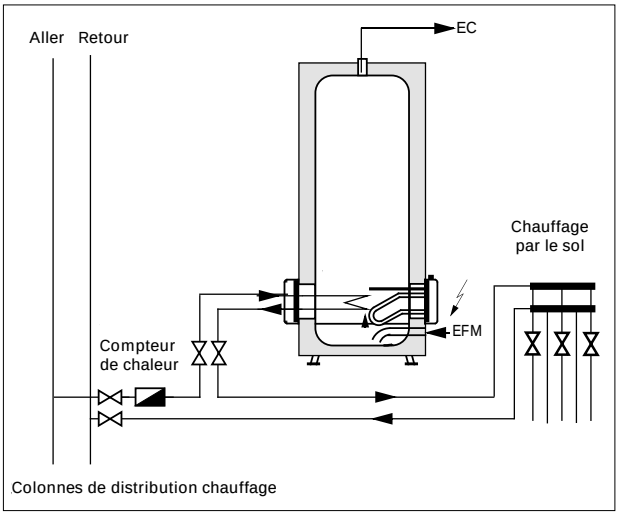
Le chauffe-eau électrique décentralisé ne présente pas cet inconvénient. Les fournisseurs d'électricité ne sont cependant plus en mesure de supporter sans autre une forte augmentation du nombre de chauffe-eau électriques, situation qui pourrait provoquer des pointes nocturnes indésirables surtout pendant la saison froide.

Cette constatation est à l'origine d'un projet pilote lancé par l'Office de l'énergie du canton de Zurich en collaboration avec les sociétés d'électricité du canton de Zurich.

Idée de base

Chauffe-eau électrique décentralisé installé dans chaque appartement et équipé d'un échangeur de chaleur traversé par l'aller du chauffage par le sol ou des radiateurs. L'eau chaude est ainsi préchauffée par la chaudière. Pendant les heures de bas tarif, l'eau chaude est amenée à la température finale par la batterie électrique.

Comme le chauffage est asservi à la température extérieure, le préchauffage de l'eau est à son maximum lors des journées froides. Ainsi, le réseau électrique est soulagé au moment le plus nécessaire. Hors de la période de chauffage, l'eau est chauffée exclusivement à l'électricité.



Représentation schématique de l'installation 11.3.1.

Installation pilote

Dans le cadre d'un projet pilote, on a analysé les avantages et les inconvénients d'une installation bivalente de préparation d'eau chaude dans deux objets.

Dans un bâtiment locatif de 8 appartements à Dietlikon, 6 appartements ont été équipés de chauffe-eau en armoire de 250 litres avec un échangeur de chaleur pour préchauffer l'eau sanitaire. Les échangeurs de chaleur sont traversés par l'aller du chauffage par le sol. Pour des raisons de place, les 2 autres petits appartements ont été équipés de chauffe-eau électriques conventionnels.

Comme le canton de Zurich le prescrit pour des bâtiments neufs, un compteur mesure dans chaque appartement la quantité totale de chaleur émise par le chauffage, c'est-à-dire également celle utilisée pour le préchauffage de l'eau.

Cette installation a été mise en service en novembre 1987 lorsque les locataires ont pris possession des lieux. Dans le cadre du projet pilote, les valeurs suivantes sont mesurées sur les chauffe-eau en armoire:

- quantité d'eau chaude prélevée;
- température de sortie de l'eau chaude;
- quantité de chaleur de l'eau chaude;
- température d'aller du chauffage;
- quantité de chaleur provenant du chauffage;
- consommation de courant pour l'eau chaude.

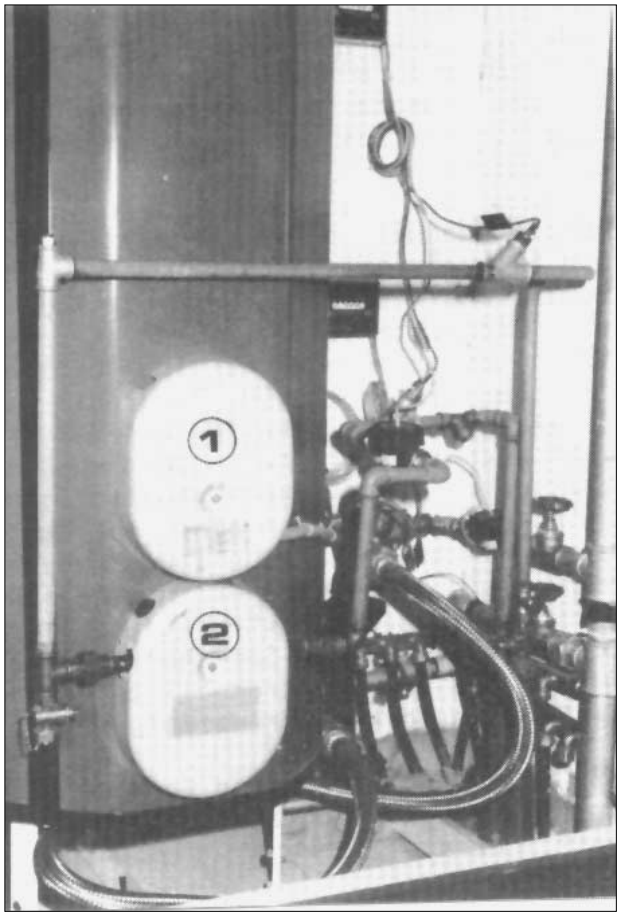


Photo de l'installation 11.3.2.

Résultat

Une première phase d'observation s'est achevée à la fin de l'été 1988 et a fourni les premiers résultats suivants:

- La température d'aller du chauffage par le sol varie entre 30° C (température extérieure +10° C) et 55° C (température extérieure -5° C).
- Les températures réglées sur les thermostats des chauffe-eau en armoire dépendent du nombre de personnes occupant l'appartement et se situent entre 55 et 60° C. Un apport électrique complémentaire est ainsi nécessaire en cas de très basse température extérieure.
- La part de courant électrique pour le chauffage intégral de l'eau varie entre 65% (température extérieure +10° C) et 25% (température extérieure -5° C).

L'enquête réalisée auprès des habitants fait ressortir des opinions fondamentalement positives. Pour la suite de l'expérience, il faut toutefois tenir compte des aspects suivants:

– Même avec ces installations bivalentes, il faut prévoir un interrupteur pour autoriser la charge hors des heures à bas tarif. Les habitudes de vie actuelles peuvent en effet faire augmenter la consommation d'eau chaude d'une manière imprévue.

– Le manque d'eau chaude se manifeste alors le soir, indépendamment de la saison.

Coût

Dans le locatif, le coût supplémentaire pour l'échangeur de chaleur et le raccordement au chauffage s'établit approximativement à Fr. 1000.– par appartement. Le compte des frais d'exploitation est influencé essentiellement par le coût de l'électricité, du mazout ou du gaz. Les premiers calculs révèlent que les économies (par rapport à une exploitation purement électrique) se situent dans le même ordre de grandeur que l'amortissement de l'investissement supplémentaire.

Perspective

Maintenant que l'on dispose des premières expériences sur l'aptitude du système, il convient de poursuivre les mesures. Les valeurs minimales de raccordement électrique du chauffe-eau en service hivernal pourront être calculées compte tenu de la charge d'appoint. On envisagera éventuellement aussi l'enclenchement variable de la batterie électrique. Le couplage d'une installation de capteurs solaires pourrait en outre fournir une économie d'énergie supplémentaire, notamment en service estival.

Il vaut certainement la peine de poursuivre l'exploitation des deux installations pilotes. Avec des installations techniques complémentaires simples sans entretien compliqué, il doit être possible de réduire les puissances électriques de raccordement et la consommation de courant durant la saison froide. Il devrait pourtant encore être possible de remplacer une part considérable des sources énergétiques fossiles. Le taux d'acceptation du chauffe-eau électrique par les utilisateurs et les fournisseurs d'électricité devrait donc à nouveau progresser.

Autre possibilité pour l'utilisation de chauffe-eau bivalents en armoire

Comme avec l'installation pilote décrite ci-dessus, on pourrait procéder à un préchauffage central de l'eau moyennant une pompe à chaleur. En service estival, l'utilisation rentable d'une pompe à chaleur air-eau serait ainsi possible.

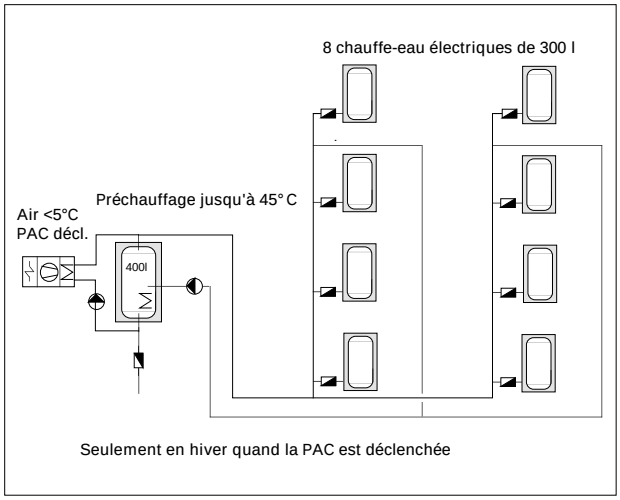


Schéma d'une installation bivalente 11.3.3.

11.4 Calcul-type des économies réalisées par coupure de la circulation

Description de l'installation
Pour que le propriétaire d'un bâtiment puisse savoir s'il vaut la peine d'interrompre une circulation, le calcul-type suivant peut se révéler très utile:

Données relatives à l'installation
Bâtiment locatif avec conduite (aller et retour) de circulation d'eau chaude de 69,5 m.

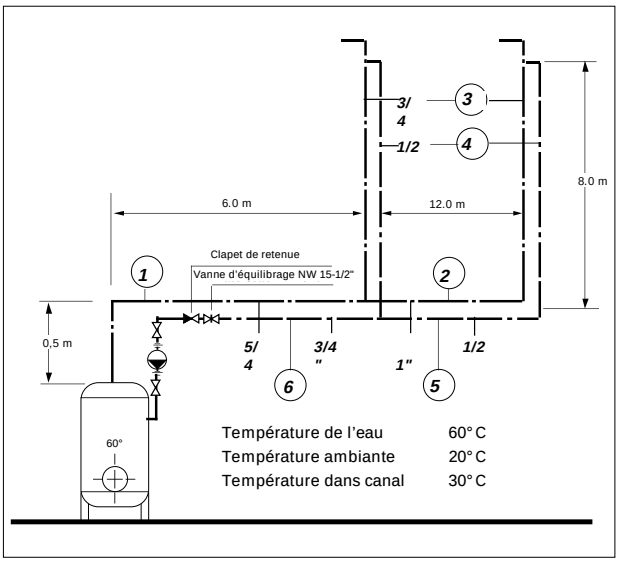


Schéma de l'installation calculée 11.4.1.

Economie possible avec une interruption

Pertes avec circulation permanente

Selon tableau du chapitre 5, page 82, 340 W

Pertes avec circulation permanente 24 x 340 W	=	8160 Wh
Courant pompe en 24 h 24 x 85 W	=	2040 Wh
Total des pertes sans interruption		10200 Wh

Economie avec interruption de 8 heures

Pertes de circulation en 8 h 8 h x 340 W	=	2720 Wh
Courant pompe en 8 h 8 h x 85 W	=	680 Wh
Sous-total		3400 Wh
Déduction pour réchauffage de l'eau refroidie et de la tuyauterie selon tableau de la page 126		1475 Wh
Total des économies par jour		1925 Wh
Total des économies par année 365 x 1925 Wh	=	702,6 kWh

Cela correspond à une économie d'environ 19% par rapport aux pertes enregistrées avec une circulation permanente.

Ce calcul-type est théorique et ne tient pas compte du soutirage d'eau chaude pendant la phase de refroidissement. Le résultat est toutefois suffisamment probant pour justifier une interruption de la circulation pendant 8 heures. Avec des installations d'eau chaude utilisées en permanence (y compris durant la nuit), on vérifiera si une interruption se justifie.

Il existe de nombreuses installations (écoles, bâtiments publics, etc.) pour lesquelles une interruption de la circulation est sans autre possible même de jour.

Dans des bâtiments à usage mixte (immeubles commerciaux et d'habitation), il est éventuellement judicieux de prévoir différentes colonnes pour les différents utilisateurs. L'interruption de la circulation peut ainsi s'effectuer individuellement. En l'occurrence, on accordera une attention particulière au dimensionnement des pompes en raison des différences entre les secteurs concernés.

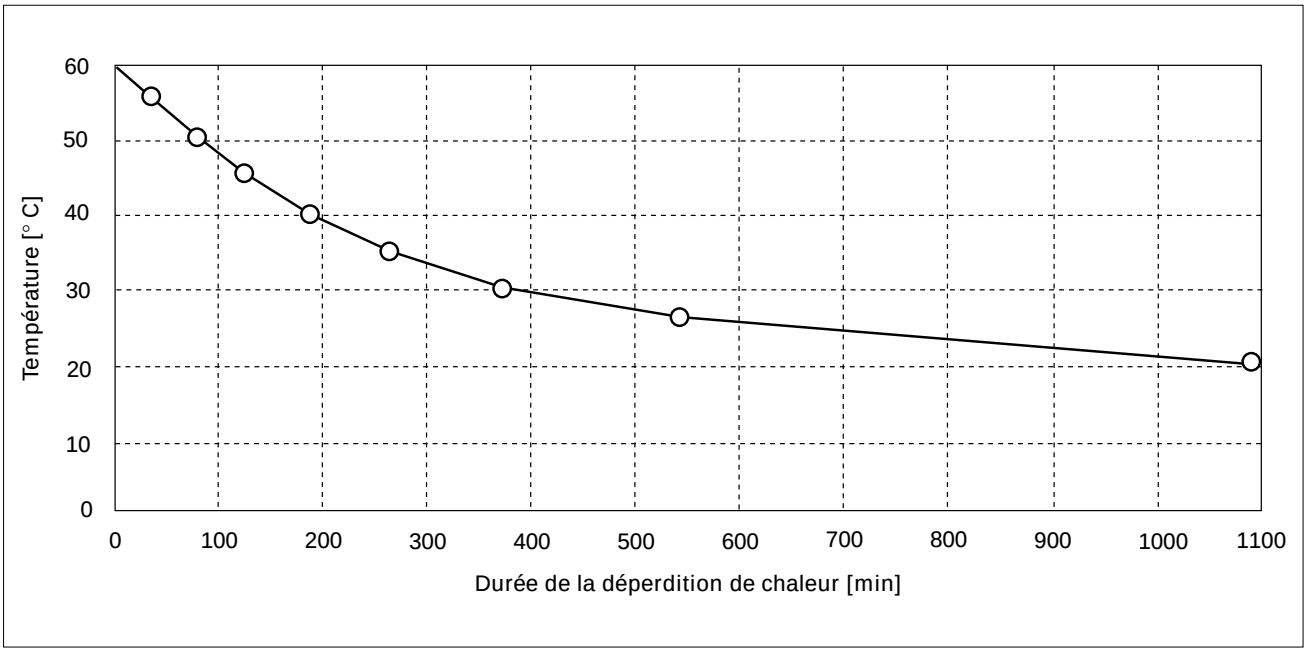


Diagramme du comportement au refroidissement d'un tuyau 3/4" avec bonne isolation thermique. Après 8 h, la température baisse à environ 28° C.

Tronçon TS	Diamètre	Longueur	D T	H2O	Tuyau	c H2O	C Fe	Q H2O	Q tuyau	Q' total
	"	m	K	kg/m	kg/m	J/kgK	J/kgK	J	J	Wh
1	5/4	6,5	32	1,01	3,14	4187	420	135 323,80	42 201,60	320,53
2	1	12	32	0,581	2,44	4187	420	77 844,70	32 793,60	368,79
3/6	3/4	23	32	0,366	1,58	4187	420	49 038,14	21 235,20	448,97
4/5	1/2	28	32	0,201	1,22	4187	420	26 930,78	16 396,80	336,99
		69,5	Longueur totale tuyauterie				Total des pertes par refroidissement			1475,28

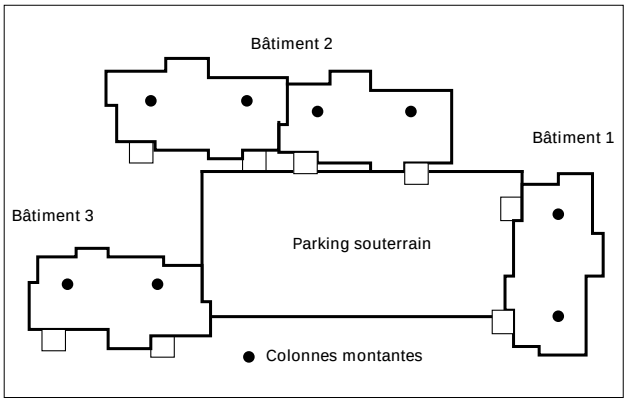
Tableau 11.4.2 de calcul de la puissance nécessaire pour chauffer l'eau refroidie et la conduite de 28° C à 60° C.

11.5 Comparaison des besoins énergétiques

Généralités
On a effectué des calculs comparatifs se rapportant aux besoins énergétiques de différents systèmes d'eau chaude pour un ensemble de 3 bâtiments et 32 appartements.

En l'occurrence, on a examiné les variantes suivantes:

- alimentation en eau chaude par groupes (chauffe-eau électrique d'appartement);
- préparation centrale de l'eau chaude par bâtiment avec électricité et gaz;
- préparation centrale de l'eau chaude pour l'ensemble immobilier avec électricité, gaz et mazout.



Plan de situation du complexe.

Bâtiment	Appartements	Chambres	Habitants
1	10	40	40
2	14	53	53
3	8	32	32
Total	32	125	125

Tableau pour base de calcul des besoins en eau chaude.

			Alimentation en eau chaude par groupes	Alimentation centrale en eau chaude par bâtiment	
Description		Unité	Chauffe-eau électrique	Chauffe-eau électrique	Chauffe-eau à gaz
Chaleur utile	Q_N	kWh	99750	99750	99750
Pertes par le générateur de chaleur	Q_E	kWh	20580	7300	11450
Pertes par les conduites	Q_L	kWh	6450	25300	25300
Besoins calorifiques totaux	Q_G	kWh	126780	132350	136500
Rendement total			0,786	0,757	0,731

			Alimentation centrale en eau chaude (centrale dans le bâtiment 2) pour les 3 bâtiments		
Description		Unité	Chauffe-eau électrique	Chauffe-eau à gaz	Combinaison avec chauffage au mazout
Chaleur utile	Q_N	kWh	99750	99750	99750
Pertes par le générateur de chaleur	Q_E	kWh	6770	12770	5270
Pertes par les conduites	Q_L	kWh	40000	40000	40000
Part chaudière	Q_H	kWh	00	00	35000
Besoins calorifiques totaux	Q_G	kWh	146.500	152500	180000
Rendement total			0,680	0,654	0,554

11.6 Comparaison ruban chauffant et circulation

Données relatives à l'installation
Bâtiment locatif avec conduite (aller et retour) de circulation d'eau chaude de 69,5 m.

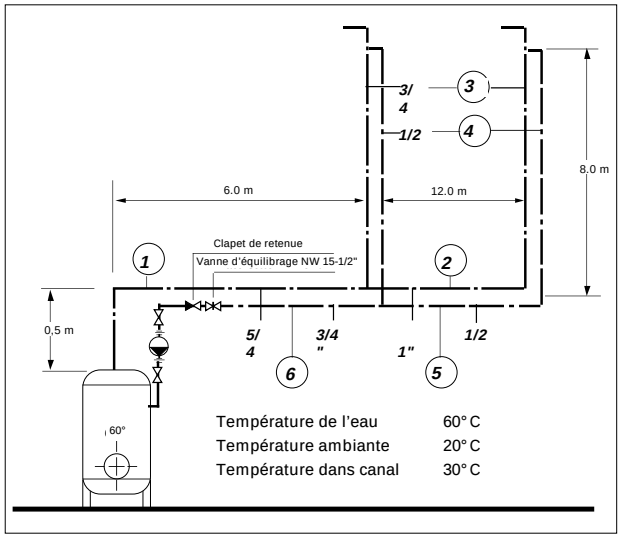


Schéma de l'installation calculée (11.6.1).

1. Circulation

Pertes avec circulation permanente

Selon tableau 5.2.4.4, chapitre 5, page 82, 340 W

Pertes avec circulation permanente 24 x 340 W	=	8160 Wh
Courant pompe en 24 h 24 x 85 W	=	2040 Wh
Total des pertes sans interruption		10200 Wh

Pertes avec interruption de 8 heures

Pertes de circulation en 8 h 8 h x 340 W	=	2720 Wh
Courant pompe en 8 h 8 h x 85 W	=	680 Wh
Sous-total		3400 Wh
Déduction pour chauffage de l'eau refroidie et de la tuyauterie selon tableau de la page 126		1475 Wh
Total des économies par jour		1925 Wh
Total des pertes avec interruption		8275 Wh

2. Ruban chauffant

La conduite de circulation est supprimée, de même que le courant de la pompe.

Longueur de la conduite d'aller 34,5 m

Pertes sans besoins énergétiques pour le ruban chauffant, sans prise en compte du coût d'investissement et du soutirage d'eau chaude:

Consommation de courant du ruban chauffant 7 W/m

Résultat: 34,5 m x 7 W/m = 241,5 W

Pour un temps d'exploitation de 24 h, on obtient des pertes énergétiques de:
241,5 W x 24 h = 5796 Wh

Total des pertes sans interruption = 5796 Wh

Pour un temps d'exploitation de 16 h, on obtient des pertes énergétiques de:
241,5 W x 16 h = 3864 Wh

Total des pertes avec interruption 3864 Wh

Interprétation
Techniquement, le ruban chauffant est souvent la seule solution correcte (alimentation centrale d'eau chaude préparée à l'électricité).

Si l'on veut porter les pures pertes énergétiques en Wh avec la consommation d'énergie primaire, on obtient les résultats théoriques suivants:

Pertes du ruban chauffant:
241,5 W x 16 h = 3864 Wh

Pertes de circulation = 8275 Wh

Différence = 53,3%

En comparant avec l'énergie primaire selon les statistiques suisses sur l'énergie, on obtient les résultats suivants:

Ruban chauffant, électricité
3864 Wh x 2 = 7728 Wh

Circulation, mazout
8275 Wh x 1,2 = 9930 Wh

12. Annexes

12.1	Aides à la planification	131
12.2	Prescriptions, recommandations, normes, directives	159
12.3	Bibliographie	160
	Publications du programme d'impulsions RAVEL	161

12. Annexes

12.1 Aides à la planification

Exploitation des mesures et statistiques de consommation d'eau chaude.
(On tiendra compte des valeurs importantes, ainsi que des contraintes externes à l'ouvrage.)

Besoins en eau chaude

Unités	Catégorie	Usage	Besoins journaliers d'eau chaude en litres, à 60° C Valeur moyenne par unité**			
			Unité	1	2	3
Unités relatives à des personnes	Logement					
	Villa	équipement simple	P	30	35	40
	Appartement en PPE	équipement moyen	P	35	40	50
		équipement de luxe	P	40	50	60
	Immeuble résidentiel	logement simple	P	30	35	45
		logement de luxe	P	35	40	50
	Cuisines professionnelles	cuisson, rinçage, lavage de la vaisselle				
	Bars à café	occupation faible	S	15	20	30
	Tea-rooms	forte occupation	S	20	30	40
	Café-restaurants	occupation faible	S	10	15	25
	Restaurants	occupation moyenne	S	20	25	35
		forte occupation	S	25	30	45
		équipement: (sans cuisines ni buanderies)				
	Auberges	simple	L	30	40	50
	Hôtels	2e classe	L	40	50	70
	"Aparthôtels"	1re classe	L	60	80	100
		de luxe	L	80	100	150
	Homes d'enfants	équipement simple	L	40	50	60
	Etablissements pour personnes âgées	équipement simple	L	30	40	50
	Hôpitaux	équipements médico-techniques:				
	Cliniques	simples	L	50	60	80
		moyens	L	70	80	100
		importants	L	100	120	150
Unités relatives à des choses	Restaurants	menus simples, service sur assiettes	M/R	6	8	10
	Cliniques	menus, jusqu'à 3 services	M/R	8	10	12
		menus, 4 services et plus	M/R	12	15	20
	Douches		On admet: eau chaude à 45° C aux points de soutirage			
		scolaires	D/P	30	35	40
		dans les installations sportives	D/P	35	40	50
		dans les usines où les travaux sont:				
		peu salissants	D/P	45	50	60
		très salissants	D/P	50	60	70
	Bains	baignoires normales	B/P	120	150	180
		grandes baignoires	B/P	150	180	200
		baignoires hydrothérapie	B/P	250	300	400
		bassins de grand volume	B/P	400	500	600

*** Si la température réelle de l'eau diffère de celle que l'on a admise à 60° C, on déterminera les valeurs en litre par jour (l/d) en appliquant au calcul le facteur approprié.*

Unités relatives à des personnes: P = personnes S = siège L = lit
Unités relatives à des choses: M/R = menu par repas *D/P = douche par personne *B/P = bain par personne
* par utilisation

1 Valeur minimale à respecter lors du dimensionnement de l'installation.
2 Valeur moyenne servant de base au calcul de la demande annuelle totale d'eau chaude et d'énergie thermique.
3 Valeur de pointe servant de base de calcul du volume et de la puissance des chauffe-eau.

*C*onsommation journalière d'eau chaude (suite)

Immeubles (lundi à vendredi)

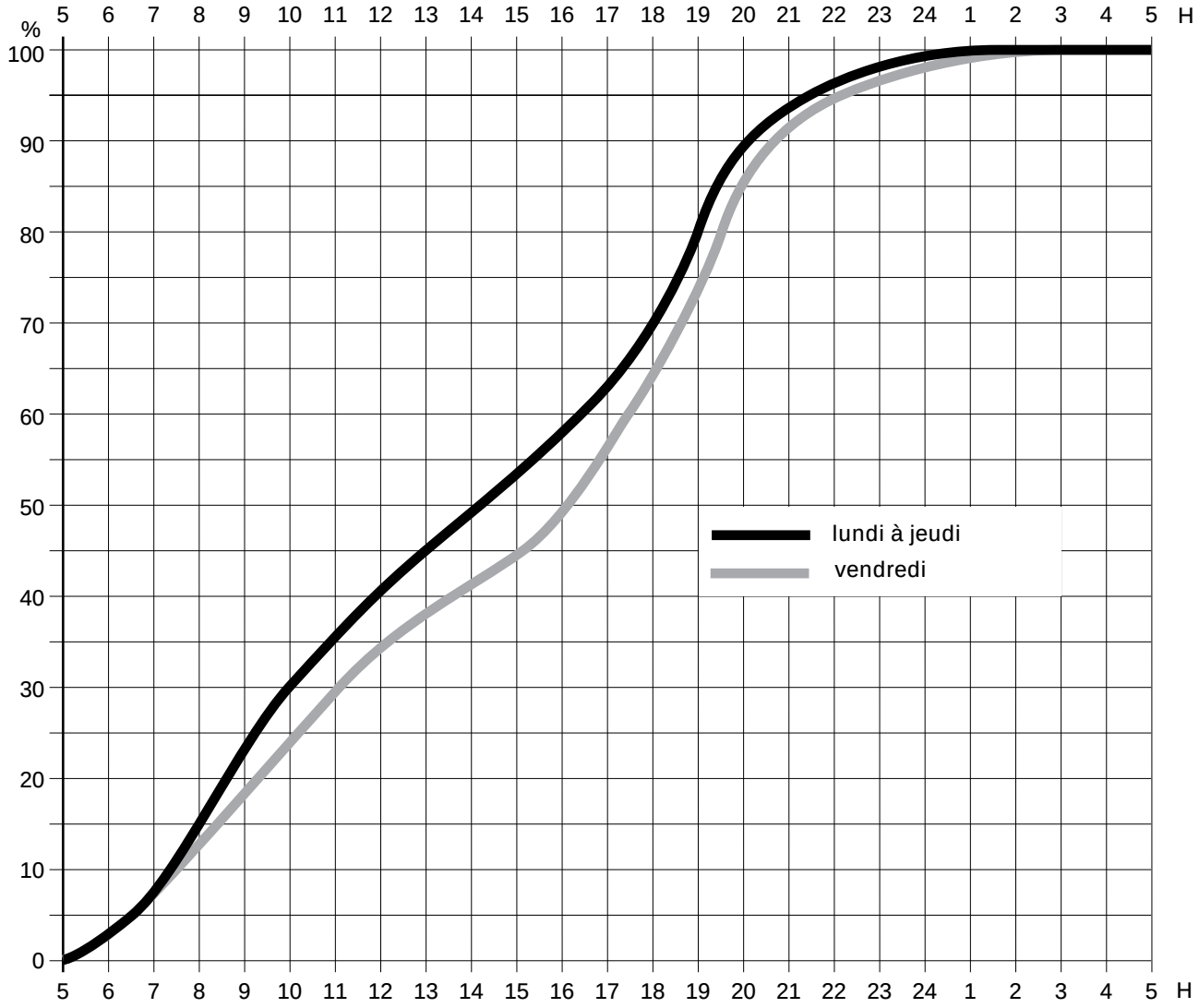
Chiffres de consommations lundi à jeudi

h	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	01	02	03	04	05
%	2	4,5	7,5	7	8,5	5,5	5	5	5	3,5	4	6	7	10	8,5	4	3	2	1	0,5	0,5	—	—	—
Σ%	2	6,5	14	21	29,5	35	40	45	50	53,5	57,5	63,6	70,5	80,5	89	93	96	98	99	99,5	100	100	100	100

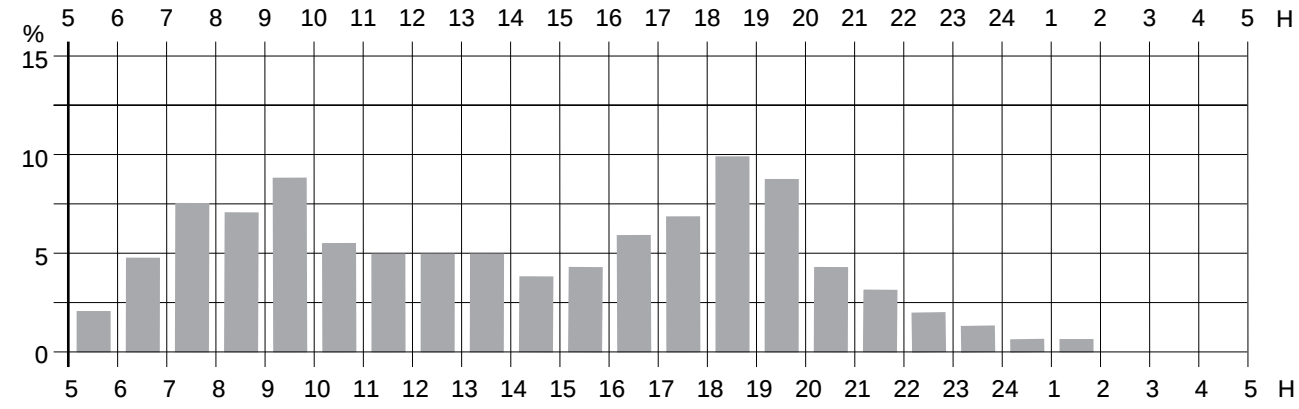
vendredi

h	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	01	02	03	04	05
%	2,5	3,5	5	5,5	5	6	5,5	3,5	3	3	6	9	9,5	9,5	8,5	6,5	4	1,5	1	0,5	0,5	0,5	0,5	—
Σ%	2,5	6	11	16,5	21,5	27,5	33	36,5	39,5	42,5	48,5	57,5	67	76,5	85	91,5	95,5	97	98	98,5	99	99,5	100	100

Courbes de consommation journalière



Histogramme du lundi à jeudi



*C*onsommation journalière d'eau chaude (suite)

Immeubles (samedi + dimanche)

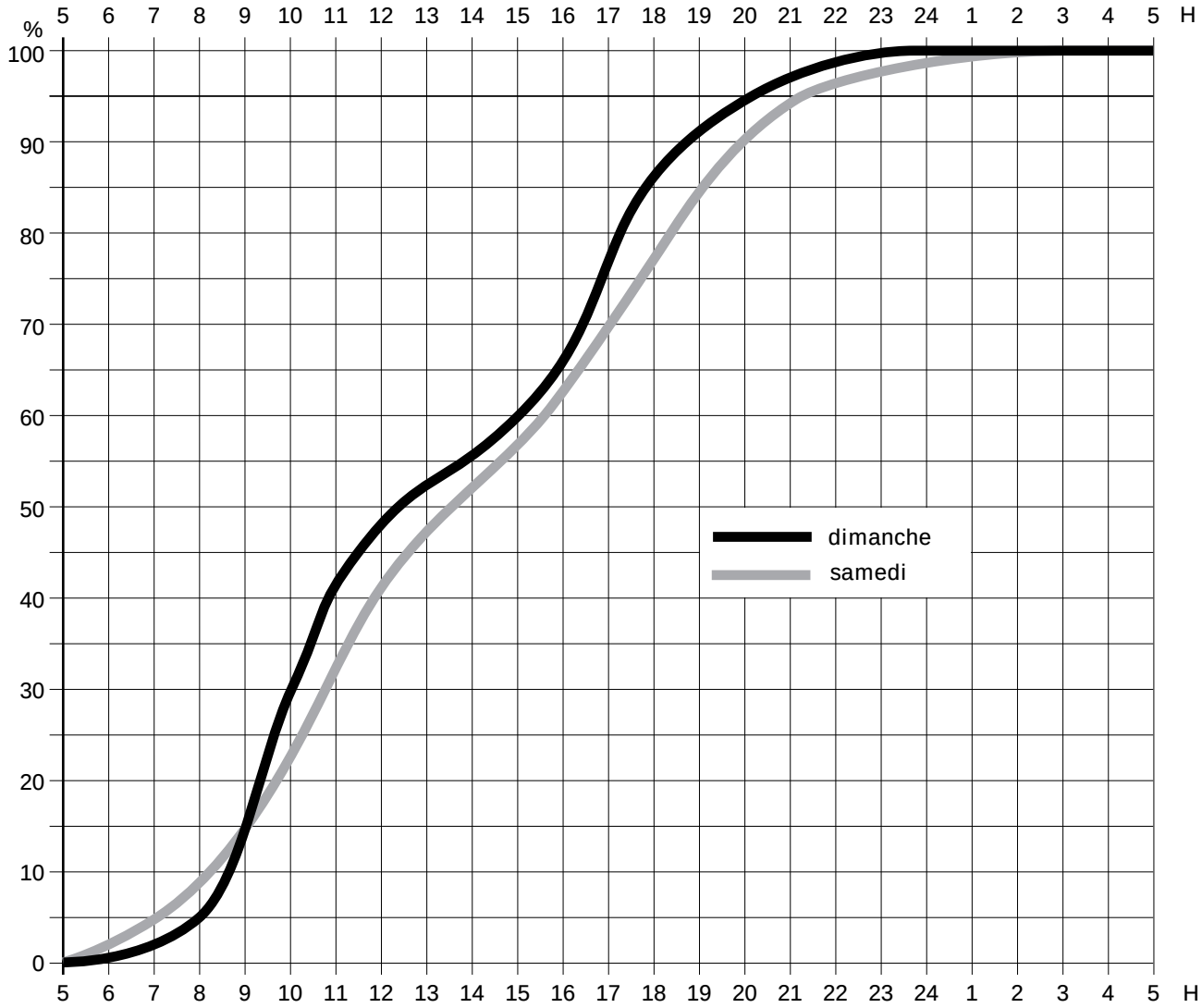
Chiffres de consommations samedi

h	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	01	02	03	04	05
%	1	3	4,5	6	9	10	8	6	5	4,5	5	7	7,5	7	5,5	4	2,5	1,5	1	0,5	0,5	0,5	0,5	—
Σ%	1	4	8,5	14,5	23,5	33,5	41,5	47,5	52,5	57	62	69	76,5	83,5	89	93	95,5	97	98	98,5	99	99,5	100	100

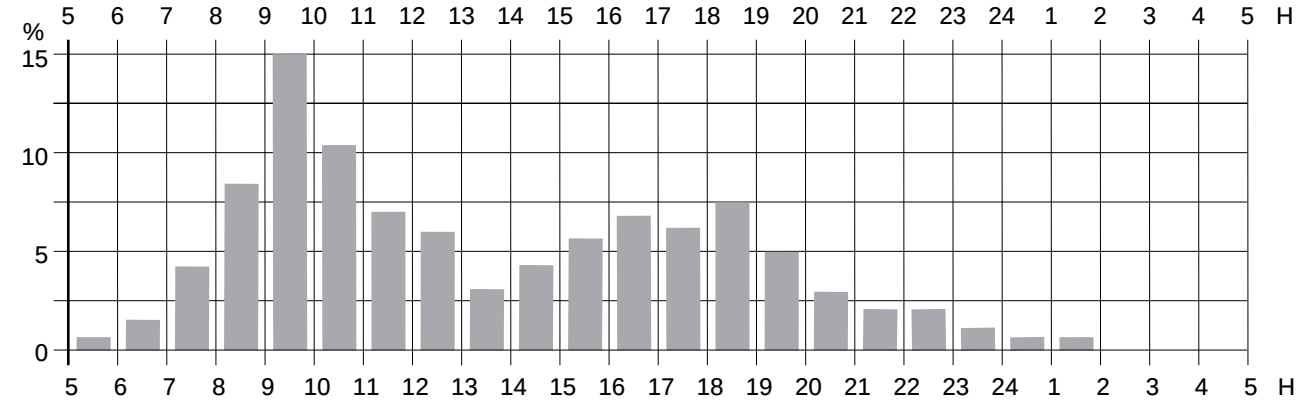
dimanche

h	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	01	02	03	04	05
%	0,5	1,5	4	8,5	15	10,5	7	6,5	3	4	5,5	6,5	6	7,5	5	3	2	2	1	0,5	0,5	—	—	—
Σ%	0,5	2	6	14,5	29,5	40	47	53,5	56,5	60,5	66	72,5	78,5	86	91	94	96	98	99	99,5	100	100	100	100

Courbes de consommation journalière



Histogramme des dimanches



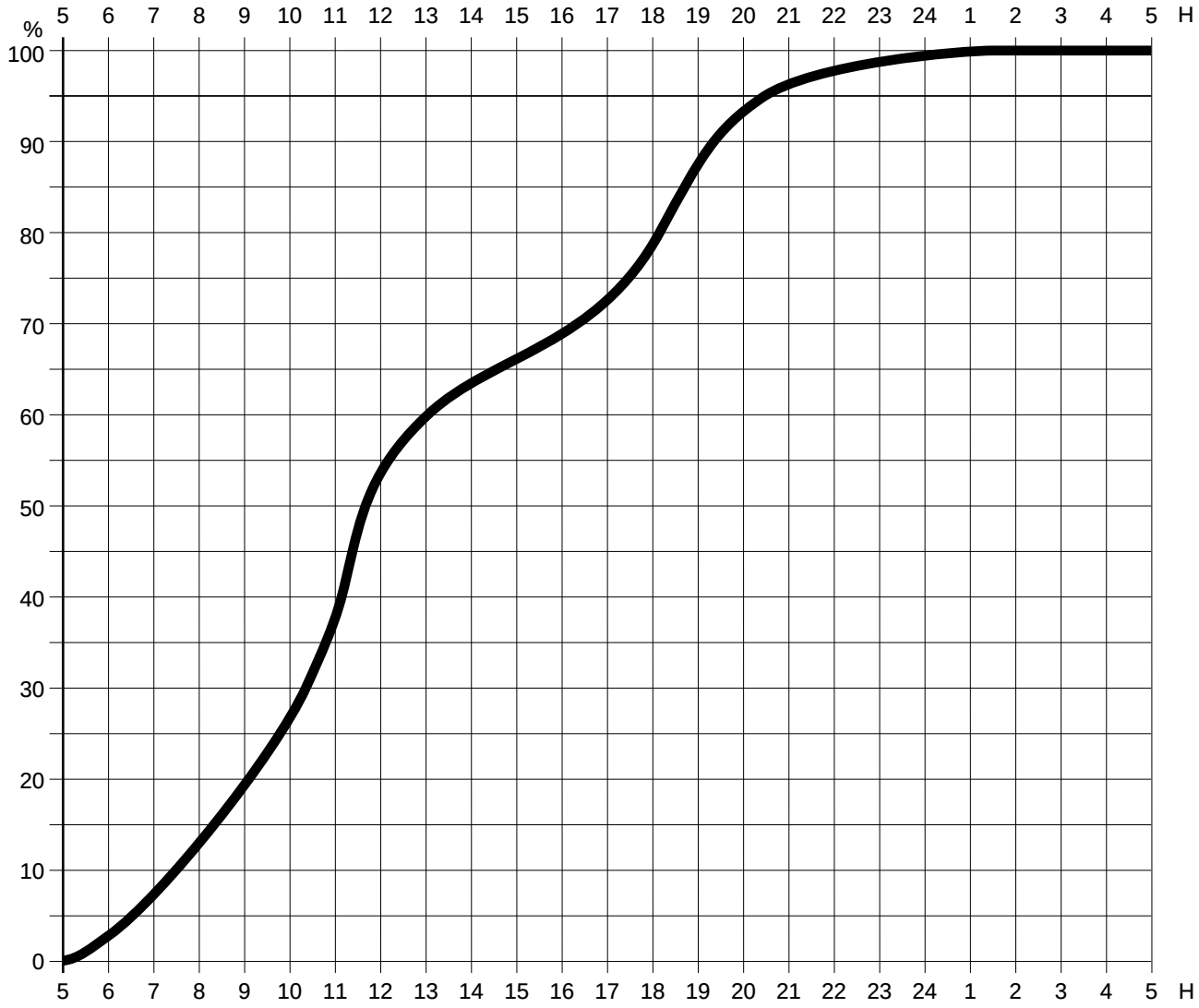
*C*onsommation journalière d'eau chaude (suite)

Cafés et restaurants

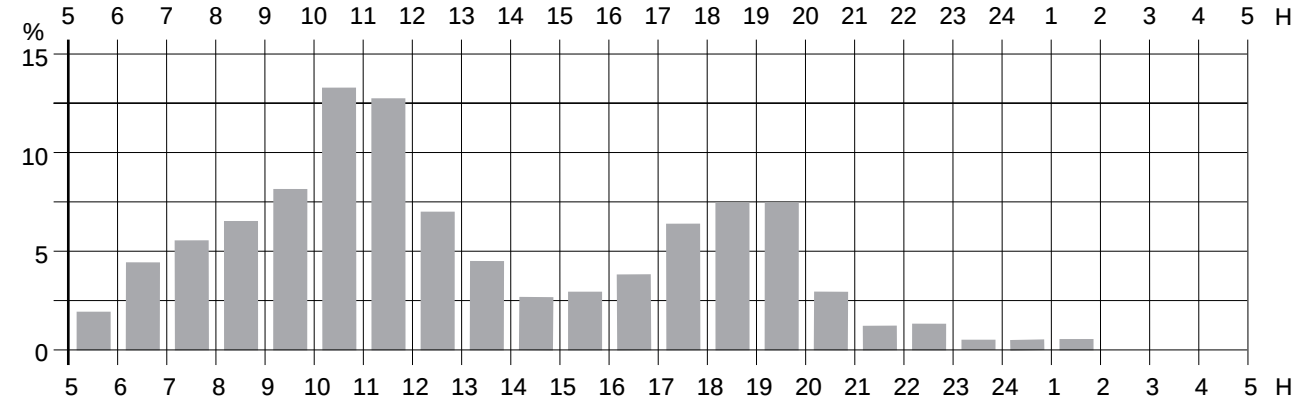
Chiffres de consommations

h	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	01	02	03	04	05
%	2	4,2	5,3	6,5	8	13,5	13	6,5	4,5	2,5	3	4	6	7,5	7,5	3	1	0,5	0,5	0,5	0,5	—	—	—
Σ%	2	6,2	11,5	18	26	39,5	52,5	59	63,5	66	69	73	79	86,5	94	97	98	98,5	99	99,5	100	—	—	—

Courbe de consommation journalière



Histogramme



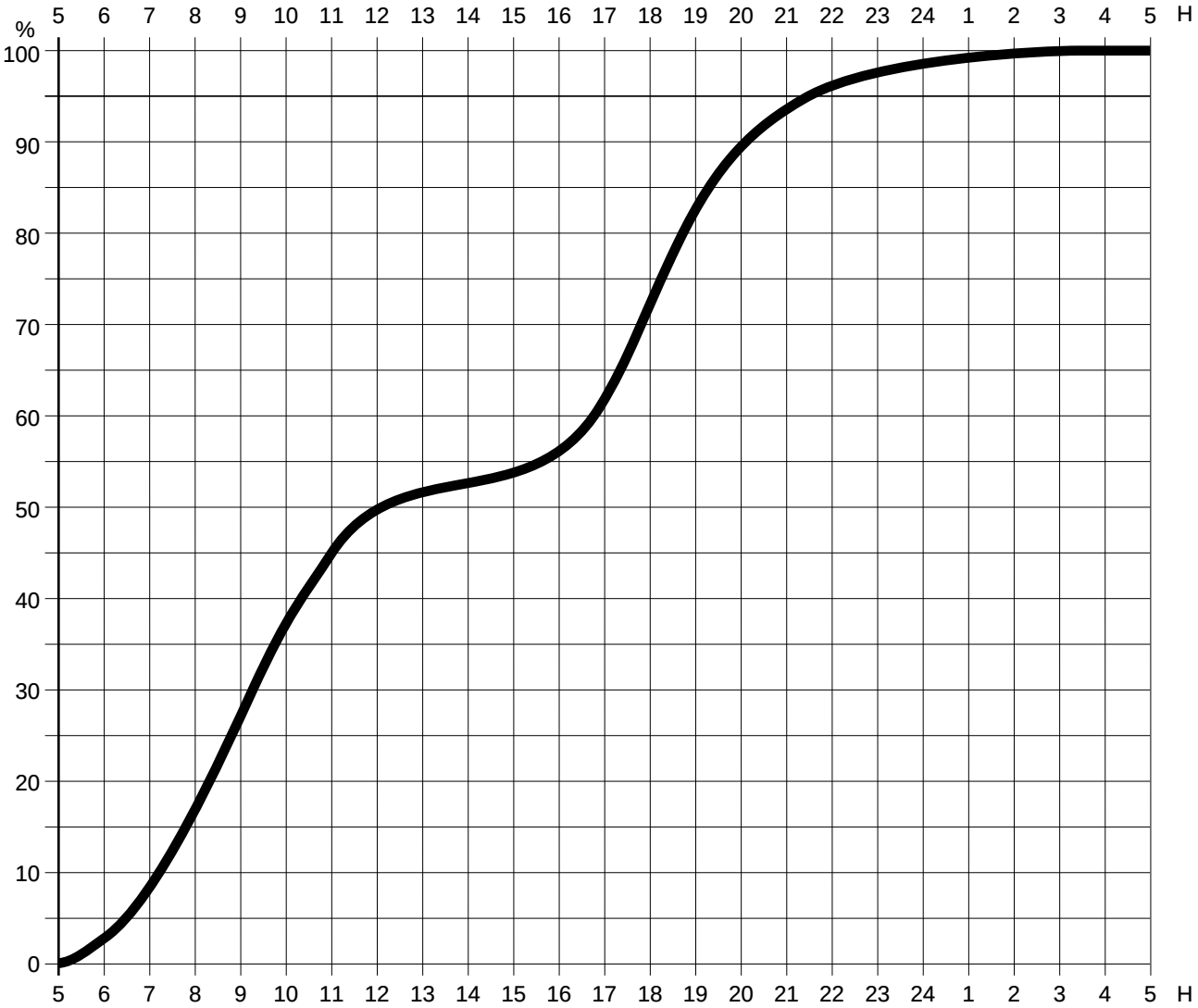
Consommation journalière d'eau chaude (suite)

Hôtels pour clientèle de passage

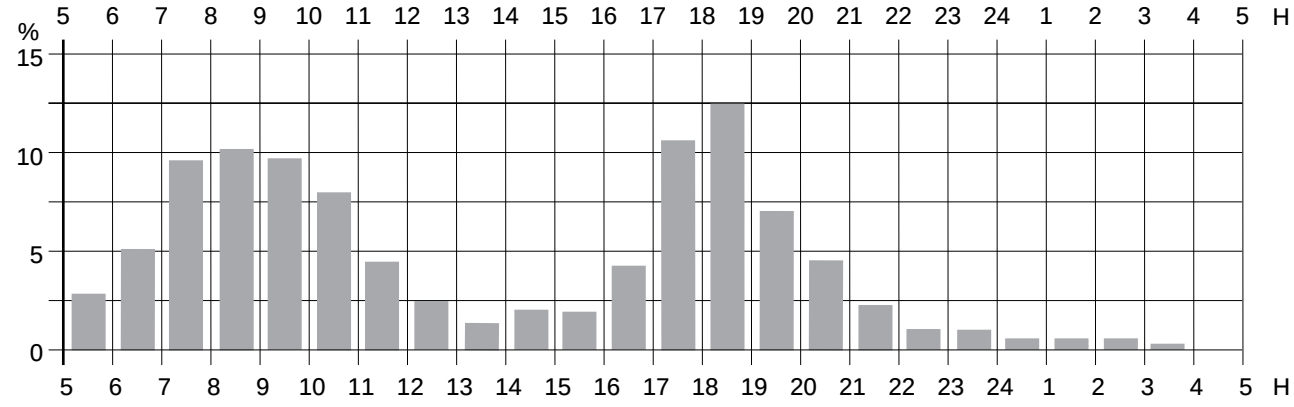
Chiffres de consommations

h	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	01	02	03	04	05
%	3	5	9,5	10	9,5	8	4	2,5	1	1,5	1,5	4	10,5	12,5	7	4,5	2	1	1	0,5	0,5	0,5	0,3	0,2
Σ%	3	8	17,5	27,5	37	45	49	51,5	52,5	54	55,5	59,5	70	82,5	89,5	94	96	97	98	98,5	99	99,5	99,8	100

Courbe de consommation journalière



Histogramme



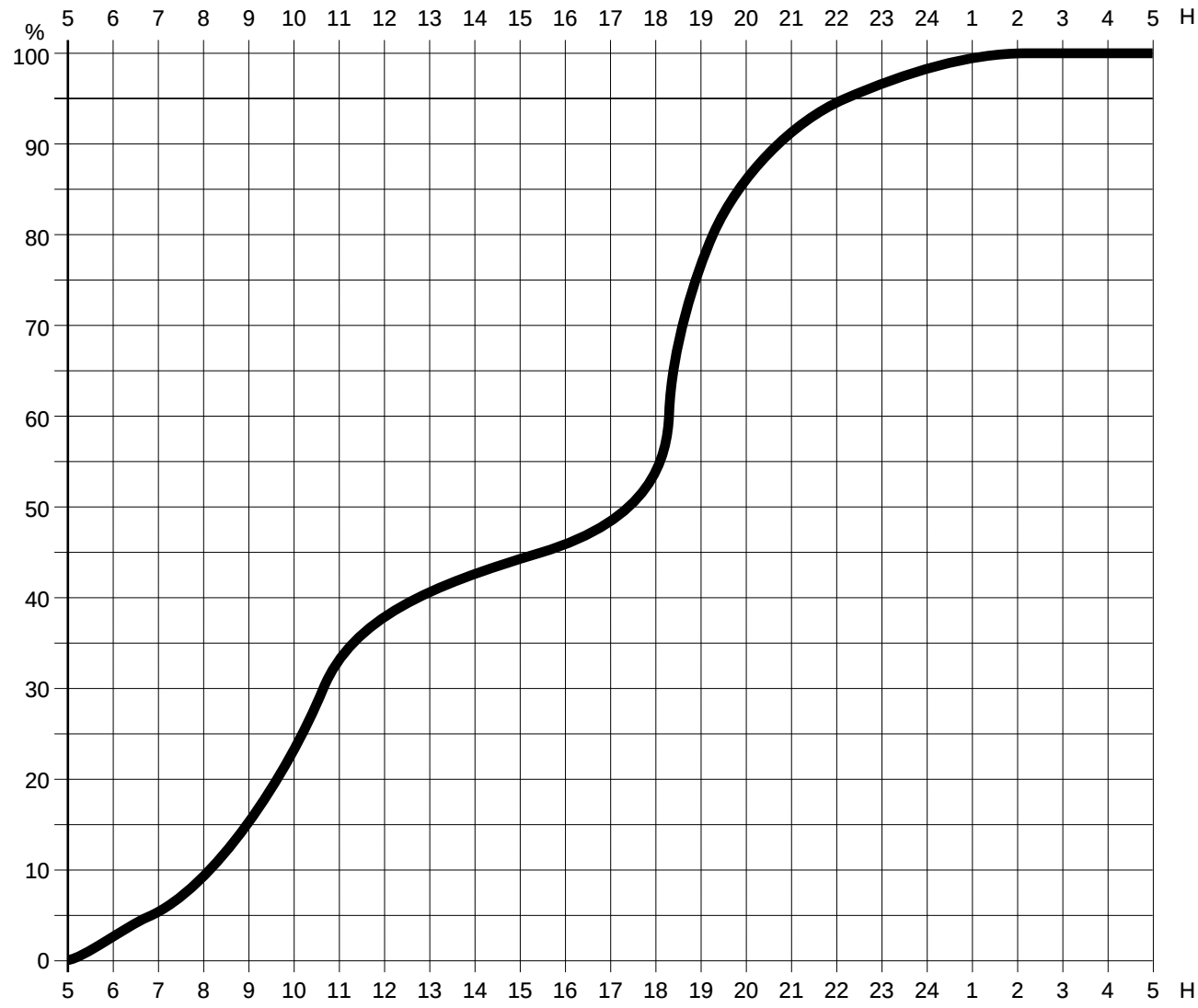
*C*onsommation journalière d'eau chaude (suite)

Hôtels pour touristes et cures

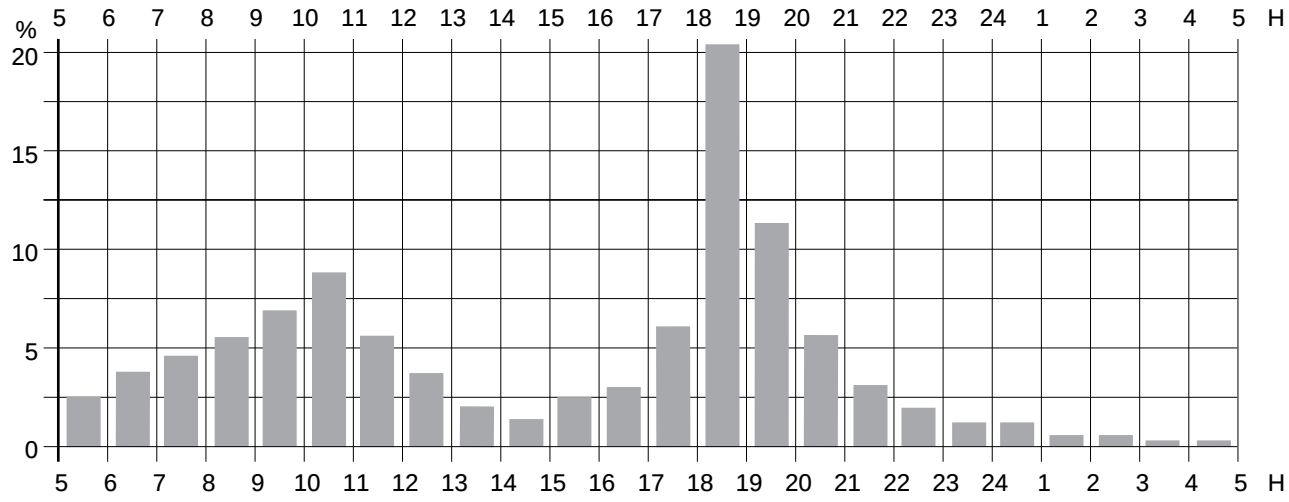
Chiffres de consommations

h	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	01	02	03	04	05
%	2,5	3,5	4,4	5,5	7	8,5	5,5	3,5	2	1,5	2,5	3	6	20,5	11	5,5	3	1,5	1	1	0,3	0,3	0,2	0,2
Σ%	2,5	6	10,5	16	23	31,5	37	40,5	42,5	44	46,5	49,5	55,5	76	87	92,5	95,5	97	98	99	99,3	99,6	99,8	100

Courbe de consommation journalière



Histogramme



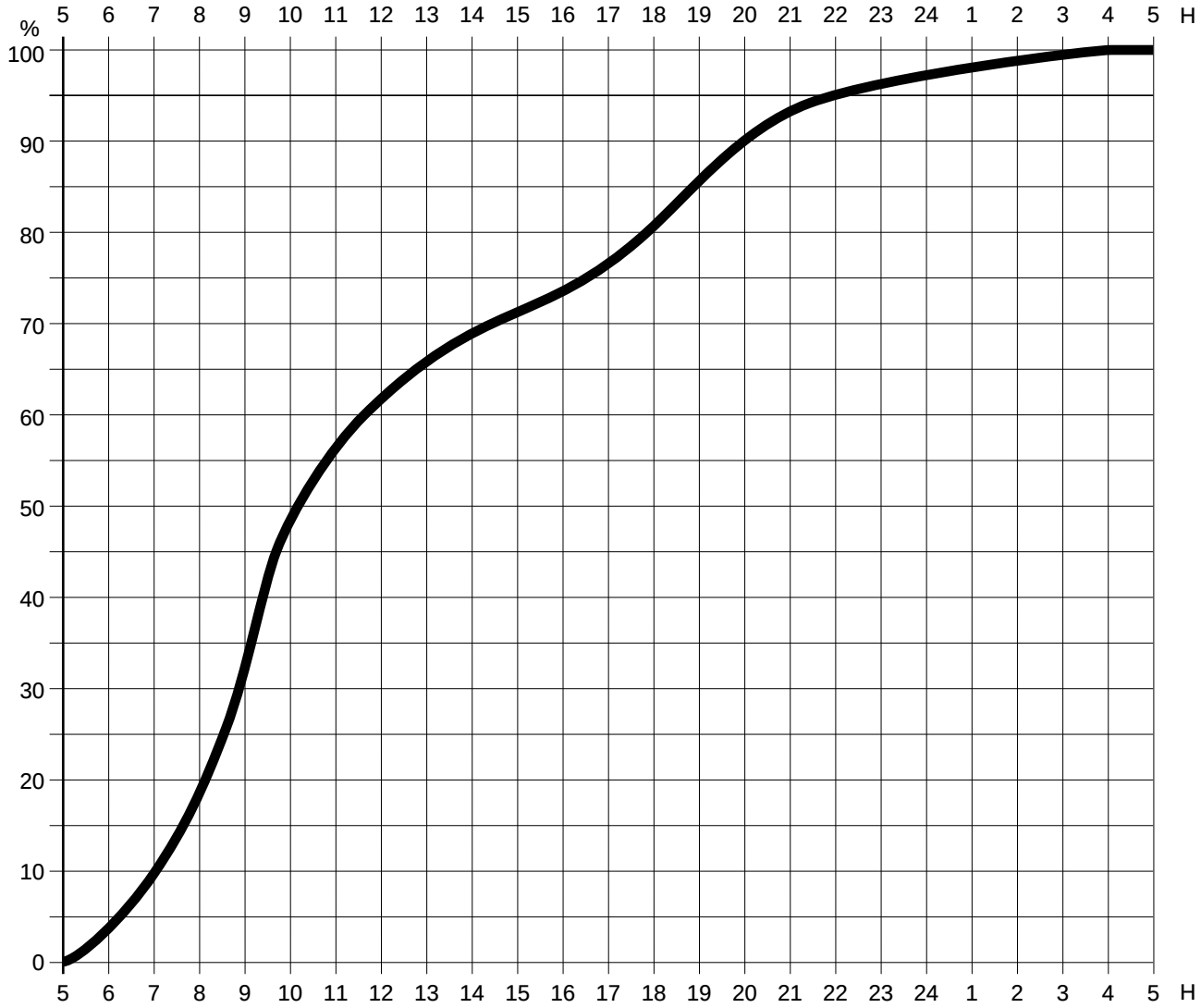
*C*onsommation journalière d'eau chaude (suite)

Hôpitaux

Chiffres de consommations

h	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	01	02	03	04	05
%	3,5	6	9	14	14	9,5	7,5	3,5	3	1,5	2	3	5	6	3,5	4	1	1	1	0,5	0,5	0,3	0,2	0,5
Σ%	3,5	9,5	18,5	32,5	46,5	56	63,5	67	70	71,5	73,5	76,5	81,5	87,5	91	95	96	97	98	98,5	99	99,3	99,5	100

Courbe de consommation journalière



Histogramme

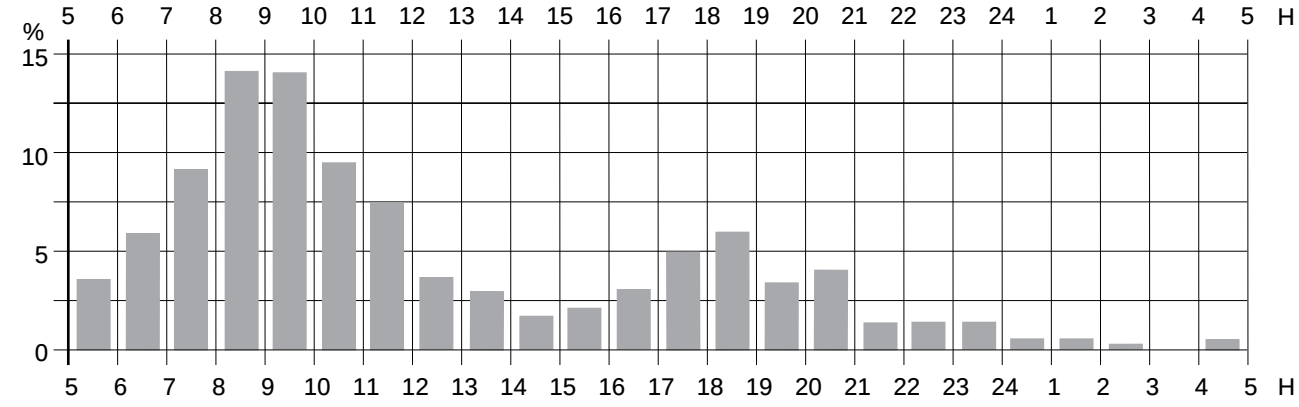


Tableau pour eau mélangée

Formule pour l'eau mélangée

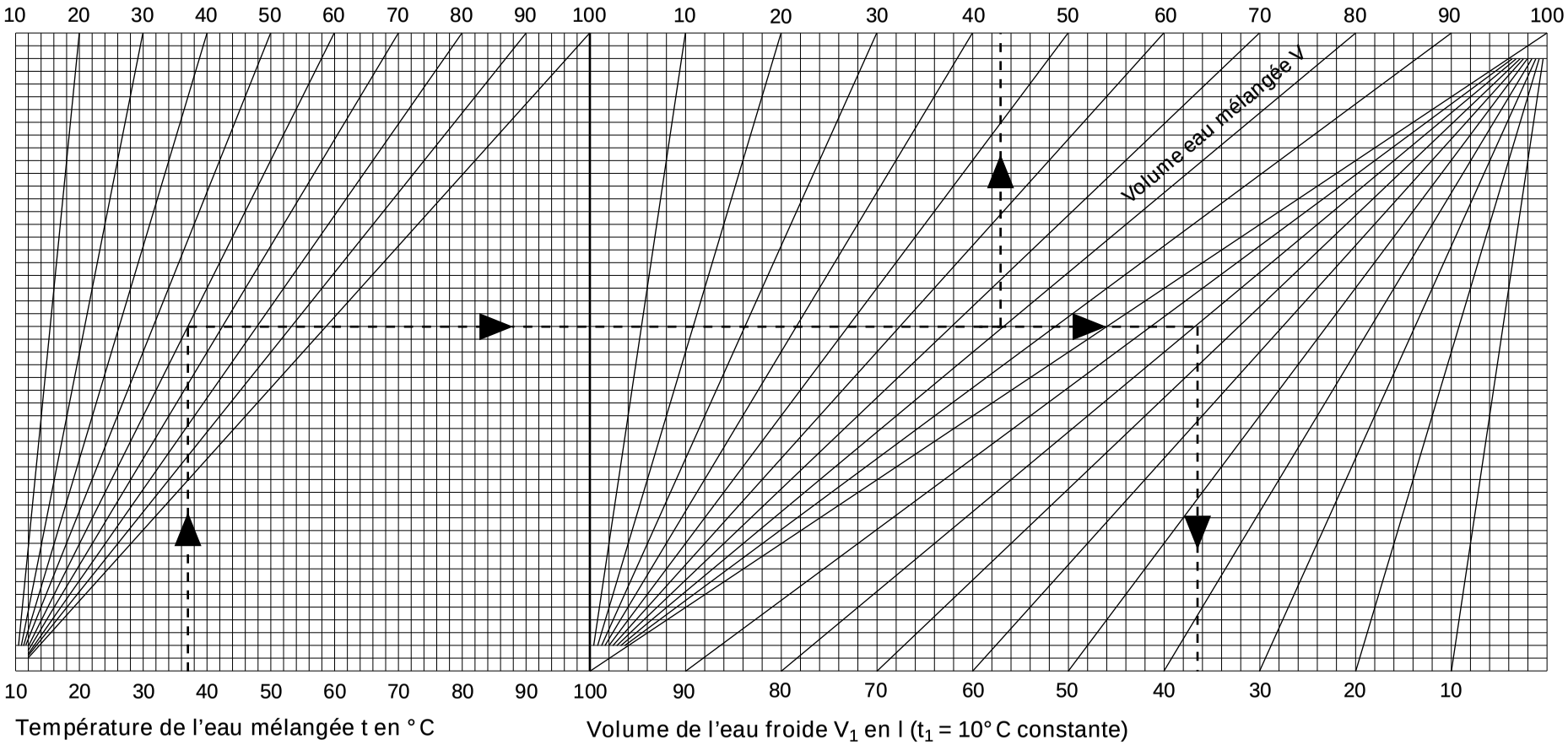
$$V = \frac{(V_1 \cdot t_1) + (V_2 \cdot t_2)}{t}$$

$$V_1 = \frac{(V \cdot t) - (V_2 \cdot t_2)}{t_1}$$

$$V_2 = \frac{(V \cdot t) - (V_1 \cdot t_1)}{t_2}$$

Exemple :

Données :	température désirée pour l'eau mélangée	t	= 37° C
	température de l'eau chaude	t_2	= 60° C
	volume d'eau mélangée désirée	V	= 80 l
Solution :	volume eau chaude	V_2	= 43,2 l
	volume eau froide	V_1	= 36,8 l



Bases

Système d'isolation en fonction de la position de montage, tuyauteries

Directives pour les tuyaux d'eau froide et d'eau pluviale

Exécution N°-ASMI	Locaux de distribution + centrales	apparent	en faux plafond		gaines et vides	caniveau de conduites		à l'air libre	sous enduit	locaux humides		
			non ventilé	ventilé		inaccessible	accessible			apparent	en faux plafond	sous enduit
102.00.210	–	–	++	–	++	++	–	–	–	–		+
102.02.210	++	++	+	+	+	+	++	–	++	++	+	+
102.02.330	++	++	+	+	+	+	++	–	++	++	+	+
102.03 / 04.210	++	++	+	+	+	+	++	++	–	++	+	–
102.03 / 04.330	++	++	+	+	+	+	++	++	–	++	+	–
102.06.210	–	–	+	–	+	++	+	+	+	+	++	++
103.03 / 04.000	++	++	+	+	+	+	++	++		++	–	–
107.00.000	+	+	+	+	+	+	+	+	++	++	++	++

Directives relatives aux conduites de chauffage, conduites de distribution et de circulation d'eau chaude

Exécution N°-ASMI	Locaux de distribution + centrales	apparent	entre dalles		gaines et vides	caniveau de conduites		à l'air libre	sous enduit	locaux humides		
			non ventilé	ventilé		inaccessible	accessible			apparent	en faux plafond	sous enduit
101.00.000	–	–	++	–	++	+	–	–	–	–	–	–
101.01.000	–	–	–	–	+	+	–	–	++	+	+	++
101.02.000	++	++	+	++	+	+	+	–	++	++	+	+
101.03 / 04.000	++	++	+	++	+	+	++	++	–	++	++	–
101.06.000	–	–	+	–	+	++	+	+	+	+	++	++
101.10.000	–	–	+	++	++	+	+	–	+	–	–	–

Légende:

++ = recommandé
\+ = applicable
– = non recommandé ou inapplicable

Pour les petits travaux de raccordements isolés sans exigences particulières, l'isolation peut être constituée de bande.

Remarque:

Etant donné que les numéros-ASMI commencent à être connus en général dans la pratique et utilisés dans le langage courant, les tableaux précédents sont établis à l'aide de l'index des numéros-ASMI.

Pour la calculation et les propositions concrètes, les firmes de l'association suisse des maisons d'isolation se tiennent à disposition.

Bases

Système d'isolation en fonction de la position de montage, armatures et appareils

Directives relatives aux accessoires et appareils (chauffage, eau chaude)

N°-ASMI	accessoires		appareils	
	locaux de distribution et centrales	à l'air libre	locaux de distribution et centrales	à l'air libre
501.02.000	++	–	–	–
501.03.000	++	++	++	++
501.04.000	++	++	++	++
502.02.000	+	–	+	–
502.03.000	+	+	+	+
502.04.000	+	+	+	+
503.03.000	+	+	+	+
503.04.000	+	+	+	+

Directives relatives aux accessoires et appareils (eau froide, refroidissement)

N°-ASMI	accessoires	appareils
502.02.220 / 340	+	
502.03.220 / 340	+	
502.04.220 / 340	+	
503.03.000	++	
503.04.000	++	
507.00.000	+	
802.03.220 / 340		+
802.04.220 / 340		+
803.03.000		++
803.04.000		++
807.00.000		+

Légende:

++ = recommandé
\+ = applicable
– = non recommandé ou inapplicable

Remarque:

Etant donné que les numéros-ASMI commencent à être connus en général dans la pratique et utilisés dans le langage courant, les tableaux précédents sont établis à l'aide de l'index des numéros-ASMI.

Déperdition de chaleur

Déperdition de chaleur des tuyaux d'acier isolés $\left[\frac{W}{m^1 \cdot K}\right]$

Ne tient pas compte d'éventuels ponts thermiques provoqués par les fixations des tuyaux et des fissures de l'isolation.

Epaisseur isolation en mm	λ isolation $\left[\frac{W}{m \cdot K}\right]$	DN 15	DN 20	DN 25	DN 32	DN 40	DN 50	DN 65	DN 80	DN 100
		1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"	3"	4"
		D_i 16.0 D_e 21.3	21.6 26.9	26.9 33.7	35.9 42.4	41.8 48.3	53.0 60.3	68.8 76.1	80.8 88.9	105.3 114.3
20	0.025	0.1380	0.1594	0.1848	0.2168	0.2382	0.2813	0.3377	0.3831	0.4728
	0.030	0.1633	0.1884	0.2183	0.2558	0.2810	0.3317	0.3978	0.4511	0.5564
	0.040	0.2117	0.2439	0.2821	0.3301	0.3623	0.4272	0.5118	0.5799	0.7145
	0.050	0.2574	0.2962	0.3422	0.3999	0.4385	0.5164	0.6179	0.6997	0.8612
	0.060	0.3008	0.3457	0.3987	0.4654	0.5100	0.5999	0.7171	0.8115	0.9979
30	0.025	0.1122	0.1278	0.1461	0.1689	0.1841	0.2147	0.2543	0.2862	0.3488
	0.030	0.1334	0.1519	0.1736	0.2006	0.2186	0.2547	0.3016	0.3392	0.4133
	0.040	0.1748	0.1988	0.2269	0.2620	0.2853	0.3321	0.3929	0.4416	0.5375
	0.050	0.2148	0.2440	0.2783	0.3209	0.3493	0.4062	0.4800	0.5392	0.6557
	0.060	0.2535	0.2877	0.3277	0.3775	0.4107	0.4771	0.5633	0.6324	0.7684
40	0.025	0.0977	0.1102	0.1248	0.1428	0.1547	0.1786	0.2095	0.2342	0.2826
	0.030	0.1165	0.1314	0.1487	0.1701	0.1843	0.2126	0.2492	0.2785	0.3360
	0.040	0.1535	0.1729	0.1955	0.2234	0.2420	0.2790	0.3268	0.3649	0.4399
	0.050	0.2895	0.2133	0.2410	0.2753	0.2980	0.3433	0.4017	0.4484	0.5401
	0.060	0.2247	0.2527	0.2853	0.3256	0.3523	0.4056	0.4742	0.5291	0.6368
50	0.025	0.0883	0.0988	0.1111	0.1261	0.1361	0.1558	0.1813	0.2015	0.2412
	0.030	0.1954	0.1180	0.1326	0.1505	0.1623	0.1858	0.2161	0.2402	0.2873
	0.040	0.1393	0.1558	0.1749	0.2984	0.2139	0.2447	0.2844	0.3160	0.3777
	0.050	0.1725	0.1928	0.2163	0.2452	0.2643	0.3122	0.3509	0.3897	0.4656
	0.060	0.2051	0.2291	0.2569	0.2911	0.3136	0.3584	0.4158	0.4616	0.5511
60	0.025	0.0816	0.0908	0.1014	0.1144	0.1230	0.1400	0.1617	0.1790	0.2127
	0.030	0.0975	0.1085	0.1212	0.1367	0.1469	0.1672	0.1931	0.2136	0.2538
	0.040	0.1290	0.1435	0.1602	0.1807	0.1941	0.2207	0.2547	0.2818	0.3345
	0.050	0.1601	0.2780	0.1986	0.2238	0.2404	0.2732	0.3152	0.3485	0.4134
	0.060	0.1907	0.2120	0.2364	0.2662	0.2858	0.3247	0.3743	0.4137	0.4906
80	0.025					0.1058	0.1193	0.1363	0.1498	0.1759
	0.030					0.1266	0.1426	0.1630	0.1791	0.2103
	0.040					0.1677	0.2888	0.2157	0.2369	0.2781
	0.050					0.2083	0.2344	0.2677	0.2939	0.3448
	0.060					0.2483	0.2794	0.3189	0.3501	0.4105
100	0.025					0.0949	0.1061	0.1203	0.1315	0.1530
	0.030					0.1136	0.1270	0.1440	0.1573	0.1831
	0.040					0.1507	0.1685	0.1909	0.2085	0.2426
	0.050					0.1874	0.2095	0.2372	0.2592	0.3014
	0.060					0.2238	0.2501	0.2832	0.3092	0.3594

Epaisseur d'isolation recommandée pour système avec circulation.

Déperdition de chaleur

Déperdition de chaleur des tuyaux cuivre isolés $\left[\frac{W}{m^1 \cdot K}\right]$

Ne tient pas compte d'éventuels ponts thermiques provoqués par les fixations des tuyaux et des fissures de l'isolation.

Epaisseur isolation en mm	λ isolation $\left[\frac{W}{m \cdot K}\right]$	10/12	13/15	16/18	20/22	25/28	32/35	39/42	50/54	72/76	85/89	103/108
		D_i 10 D_e 12	13 15	16 18	20 22	25 28	32 35	39 42	50 54	72.1 76.1	84.9 88.9	103 108
20	0.025	0.1006	0.1131	0.1251	0.1408	0.1636	0.1897	0.2153	0.2588	0.3377	0.3831	0.4506
	0.030	0.1192	0.1339	0.1481	0.1665	0.1933	0.2240	0.2541	0.3051	0.3979	0.4512	0.5304
	0.040	0.1552	0.1740	0.1922	0.2158	0.2502	0.2894	0.3280	0.3922	0.5118	0.5800	0.6813
	0.050	0.1894	0.2121	0.2341	0.2624	0.3038	0.3510	0.3973	0.4757	0.6181	0.6999	0.8214
	0.060	0.2221	0.2484	0.2738	0.3066	0.3544	0.4089	0.4625	0.5530	0.7173	0.8117	0.9520
30	0.025	0.0844	0.0938	0.1027	0.1142	0.1308	0.1496	0.1679	0.1987	0.2544	0.2862	0.3334
	0.030	0.1006	0.1116	0.1222	0.1358	0.1555	0.1777	0.1994	0.2359	0.3016	0.3393	0.3950
	0.040	0.1321	0.1465	0.1603	0.1779	0.2035	0.2323	0.2604	0.3077	0.3929	0.4416	0.5139
	0.050	0.1627	0.1803	0.1971	0.2186	0.2497	0.2848	0.3190	0.3765	0.4801	0.5293	0.6270
	0.060	0.1925	0.2131	0.2327	0.2579	0.2943	0.3353	0.3753	0.4425	0.5634	0.6325	0.7349
40	0.025	0.0752	0.0828	0.0901	0.0993	0.1126	0.1275	0.1420	0.1662	0.2095	0.2342	0.2707
	0.030	0.0897	0.0988	0.1074	0.1184	0.1342	0.1519	0.1691	0.1978	0.2493	0.2785	0.3218
	0.040	0.1184	0.1303	0.1416	0.2560	0.1766	0.1997	0.2222	0.2597	0.3268	0.3650	0.4214
	0.050	0.1465	0.1611	0.1749	0.1926	0.2179	0.2463	0.2738	0.3197	0.4018	0.4485	0.5175
	0.060	0.1740	0.1912	0.2075	0.2284	0.2582	0.2915	0.3239	0.3778	0.4743	0.5292	0.6103
50	0.025	0.6990	0.756	0.0818	0.0896	0.1009	0.1134	0.1254	0.1445	0.1813	0.2015	0.2314
	0.030	0.0825	0.0903	0.0977	0.1071	0.1204	0.1353	0.1497	0.1736	0.2161	0.2402	0.2757
	0.040	0.1091	0.1194	0.1291	0.1414	0.1590	0.1785	0.2440	0.2287	0.2844	0.3160	0.3625
	0.050	0.1353	0.1480	0.1600	0.1751	0.1967	0.2208	0.2896	0.2825	0.3510	0.3898	0.4469
	0.060	0.1611	0.1761	0.1903	0.2082	0.2328	0.2622		0.3351	0.4159	0.4616	0.5291
60	0.025	0.0645	0.0704	0.0758	0.0827	0.0925	0.1034	0.1139	0.1312	0.1617	0.1790	0.2044
	0.030	0.0772	0.0842	0.0907	0.0989	0.1106	0.1236	0.1360	0.1566	0.1931	0.2137	0.2439
	0.040	0.1023	0.1115	0.1201	0.1309	0.1463	0.1634	0.1798	0.2069	0.2548	0.2818	0.3216
	0.050	0.1271	0.1384	0.1490	0.1624	0.1814	0.2025	0.2227	0.2651	0.3152	0.3485	0.3975
	0.060	0.1515	0.1650	0.1776	0.1935	0.2160	0.2410	0.2649	0.3045	0.3744	0.4138	0.4717
80	0.025						0.0902	0.0986	0.1123	0.1363	0.1498	0.1695
	0.030						0.1079	0.1179	0.1343	0.1630	0.1791	0.2026
	0.040						0.1430	0.1562	0.1779	0.2157	0.2369	0.2680
	0.050						0.1777	0.1941	0.2208	0.2677	0.2939	0.3323
	0.060						0.2120	0.2315	0.2633	0.3189	0.3501	0.3957
100	0.025						0.0817	0.0887	0.1003	0.1203	0.1315	0.1478
	0.030						0.0978	0.1062	0.1200	0.1440	0.1573	0.1768
	0.040						0.1298	0.1410	0.1592	0.1909	0.2086	0.2343
	0.050						0.1615	0.1754	0.1980	0.2373	0.2592	0.2910
	0.060						0.1930	0.2095	0.2365	0.2832	0.3093	0.3472

Epaisseur d'isolation recommandée pour système avec circulation.

Déperdition de chaleur

Déperdition de chaleur des tuyaux polypropylène (Unisan) isolés $\left[\frac{W}{m^1 \cdot K}\right]$

Ne tient pas compte d'éventuels ponts thermiques provoqués par les fixations des tuyaux et des fissures de l'isolation.

Epaisseur isolation en mm	λ isolation $\left[\frac{W}{m \cdot K}\right]$		DN 10	DN 15	DN 20	DN 25	DN 32	DN 40	DN 50	DN 65
			3/8"	1/2"	3/4"	1"	5/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"
		D_i	10.6	13.2	16.6	21.2	26.6	32.2	42.0	50.0
		D_e	16.0	20.0	25.0	32.0	40.0	50.0	63.0	75.0
20	0.025		0.1135	0.1283	0.1462	0.1702	0.1969	0.2291	0.2699	0.3063
	0.030		0.1336	0.1508	0.1716	0.1994	0.2302	0.2673	0.3141	0.3557
	0.040		0.1717	0.1932	0.2192	0.2538	0.2920	0.3375	0.3948	0.4454
	0.050		0.2071	0.2324	0.2630	0.3034	0.3479	0.4007	0.4669	0.5248
	0.060		0.2401	0.2688	0.3034	0.3489	0.3989	0.4579	0.5315	0.5956
30	0.025		0.0943	0.1053	0.1186	0.1363	0.1558	0.1793	0.2091	0.2357
	0.030		0.1117	0.1246	0.1402	0.1608	0.1836	0.2110	0.2455	0.2762
	0.040		0.1452	0.1616	0.1814	0.2075	0.2363	0.2706	0.3137	0.3539
	0.050		0.1770	0.1967	0.2203	0.2513	0.2854	0.3258	0.3765	0.4212
	0.060		0.2073	0.2299	0.2570	0.2925	0.3313	0.3772	0.4345	0.4848
40	0.025		0.0833	0.0923	0.1031	0.1173	0.1329	0.1517	0.1753	0.1964
	0.030		0.0990	0.1096	0.1222	0.1389	0.1573	0.1792	0.2068	0.2314
	0.040		0.1294	0.1430	0.1592	0.1806	0.2039	0.2317	0.2666	0.2976
	0.050		0.1586	0.1750	0.1945	0.2201	0.2481	0.2812	0.3227	0.3593
	0.060		0.1867	0.2057	0.2283	0.2578	0.2900	0.3279	0.3753	0.4169
50	0.025		0.0760	0.0838	0.0929	0.1050	0.1181	0.1338	0.1536	0.1712
	0.030		0.0905	0.0996	0.1104	0.1246	0.1401	0.1586	0.1817	0.2024
	0.040		0.1187	0.1305	0.1444	0.1626	0.1825	0.2061	0.2357	0.2618
	0.050		0.1460	0.1602	0.1771	0.1991	0.2231	0.2514	0.2867	0.3179
	0.060		0.1724	0.1890	0.2086	0.2341	0.2619	0.2945	0.3351	0.3708
60	0.025		0.0708	0.0776	0.0857	0.0962	0.1077	0.1213	0.1384	0.1536
	0.030		0.0844	0.0924	0.1019	0.1144	0.1279	0.1440	0.1641	0.1819
	0.040		0.1109	0.1214	0.1337	0.1488	0.1672	0.1878	0.2136	0.2364
	0.050		0.1367	0.1494	0.1644	0.1839	0.2050	0.2298	0.2608	0.2881
	0.060		0.1618	0.1766	0.1941	0.2168	0.2413	0.2701	0.3059	0.3373
80	0.025						0.0938	0.1047	0.1183	0.1304
	0.030						0.1116	0.1245	0.1406	0.1549
	0.040						0.1465	0.1632	0.1839	0.2023
	0.050						0.1802	0.2005	0.2257	0.2477
	0.060						0.2130	0.2366	0.2658	0.2914
100	0.025						0.0848	0.0940	0.1055	0.1156
	0.030						0.1010	0.1120	0.1256	0.1375
	0.040						0.1329	0.1471	0.1647	0.1802
	0.050						0.1639	0.1812	0.2027	0.2214
	0.060						0.1941	0.2144	0.2394	0.2612

Epaisseur d'isolation recommandée pour système avec circulation.

Epaisseurs des isolations et pertes de chaleur des chauffe-eau et appareils

Calorifugeage des accumulateurs de chaleur et des chauffe-eau
(Il faut tenir compte des directives sur les énergies en vigueur)

1. Accumulateur de chaleur et chauffe-eau avec montage sur place de l'isolation

Epaisseur usuelles minimum des couches d'isolation en tenant compte d'une conductibilité thermique de :
λ 50° C = 0,04 $\left[\frac{W}{m \cdot K}\right]$

Jusqu'à y compris 400 l de contenance	Jusqu'à y compris 2000 l de contenance	Au-dessus de 2000 l de contenance
100 mm	120 mm	160 mm

2. Accumulateur de chaleur et chauffe-eau avec isolation d'usine

Conditions : température de service 65° C, température de l'air du local 20° C, sans soutirage.
Aperçu des pertes de chaleur maximum admissibles pendant le temps d'arrêt.

Contenu en litre	30	50	100	200	300	400	500	600	700	800	900
Wh par 24 heures	750	900	1300	2100	2600	3100	3500	3800	4100	4300	4500

Contenu en litre	1000	1100	1200	1300	1400	1500	1600	1700	1800	1900	2000
Wh par 24 heures	4700	4800	4900	5000	5050	5100	5120	5140	5160	5180	5200

Les valeurs intermédiaires sont à interpréter d'une manière linéaire.
Lorsque les valeurs des coefficients de conductibilité diminuent, l'épaisseur minimum de l'isolation peut être adaptée aux caractéristiques d'une isolation comparable. Lors d'une adaptation du coefficient de conductibilité thermique dépendant de la température, celui-ci doit être justifié par un certificat d'essais délivré par un organisme étatique reconnu.

Pertes de maintien des appareils à gaz, valeur maximum admissible

Pertes maximum admissibles pour les accumulateurs et chauffe-eau avec brûleurs atmosphériques.
Conditions : température de l'eau de l'accumulateur 60° C, température de l'air du local 20° C, sans soutirage.

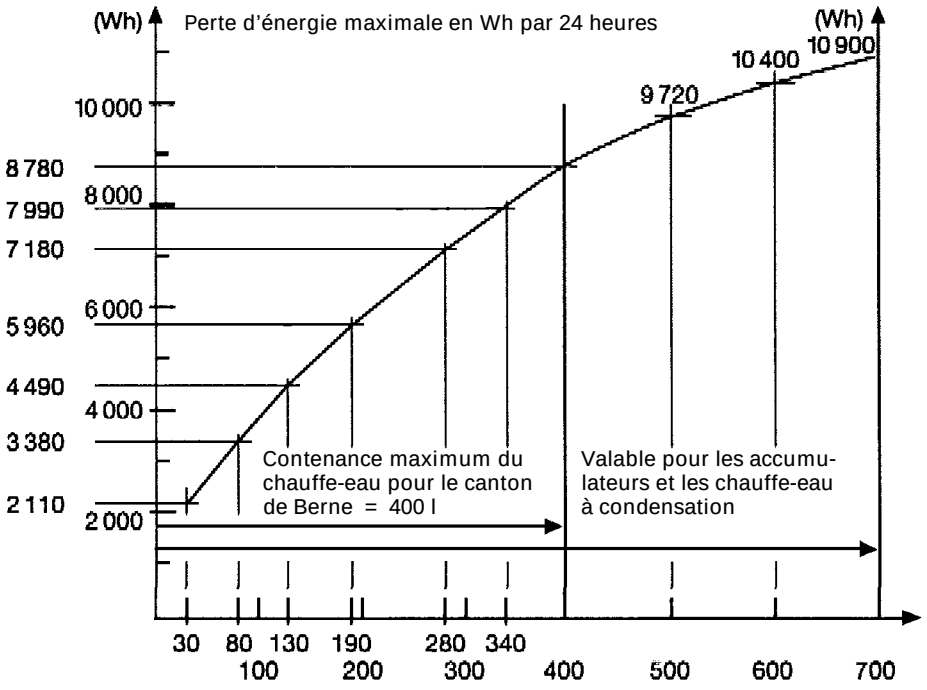
Contenance en litre de l'accumulateur (max 400 l)	30	80	130	190	280	340	400
Perte d'énergie maximale en Wh par 24 heures	2110	3380	4490	5690	7180	7990	8780

Contenance de l'accumulateur en litre valable pour des accumulateurs et chauffe-eau à condensation	30	80	130	190	280	340	400	500	600	700
Perte d'énergie maximum en Wh par 24 heures	2110	3380	4490	5690	7180	7990	8780	9720	10 400	10 900

Epaisseurs des isolations et pertes de chaleur des chauffe-eau et appareils

Calorifugeage des accumulateurs de chaleur et des chauffe-eau à gaz

Les valeurs intermédiaires sont à interpréter d'une manière linéaire.
Les pertes admissibles pour les accumulateurs et chauffe-eau à chauffage indirect sont identiques à celles des accumulateurs (voir points 1 et 2).



Fiche technique pour
Détermination de l'installation de préparation et de distribution d'eau chaude

Date:
Révisé:
Visa:

1. Objet:

   Genre de bâtiment

2. Genre d'alimentation

   Alimentation en eau chaude individuelle, par groupes, centrale

3. Besoins en eau chaude — Unité — Besoins en l/jour à ___°C

Usage	Genre	Nombre	l/jour	min.	moyenne	max.

4. Bases de calcul: ostes d'eau chaude

	Genre	Nombre	Total unités	Débit de pointe l/min	Diamètre raccordement eau froide	eau chaude	circulation

5. Agent énergétique — Genre:
   Pouvoir calorifique:
   Coût:

6. Chauffe-eau — Genre: — Type:

Matériau		Volume:
Corps de chauffe		Dimensions
Corps de chauffe		Diamètre
		L
		H
Températures:	Eau froide	°C
Eau chaude		°C
Agent caloporteur		°C
Puissance calorifique		kW
Commande de réchauffage		
Remarques particulières		
Protection contre le tartre et la corrosion		
Isolation:	Matériau	
	Epaisseur en mm	

Fiche technique pour
Détermination de l'installation de préparation et de distribution d'eau chaude

7.	Conduites de distribution, système :	Conduites individuelles Système à circulation Système combiné					
	Matériaux	Conduites de distribution principales					
		Raccordements des appareils					
		Distributions d'appartement					
	Organes d'arrêt :	Colonnes montantes					
		Groupes (appartements)					
		Conduites individuelles					
	Dilatation : Compensateurs	Genre : Disposition					
	Isolations :	DN tuyau	15-20	25-32	40-50	65-85	100-125
	Montage apparent	Epaisseur en mm					
	Montage invisible	Epaisseur en mm					

8.	Circulation	Calcul selon fiche séparée		
		Température de l'eau chaude	Sortie chauffe-eau Aller ___ °C	Entrée chauffe-eau Circulation ___ °C
	Circulateur :	Type		
		Hauteur de refoulement en mbar		
		Débit en l/s		
		Moteur		
		Raccordements		
		Commande		
	Régulation :	Organe de régulation type		

9.	Décompte d'eau chaude	Forfait par unité de consommateur Prix par m^3
	Coût total (justification de rentabilité)	

10. Exigences particulières

Tableau A : facteurs d'annuité

Durée d'amortissement en années	Taux d'intérêt du capital											
	1.0%	2.0%	3.0%	4.0%	5.0%	6.0%	7.0%	8.0%	9.0%	10.0%	15.0%	20.0%
1	1.010	1.020	1.030	1.040	1.050	1.060	1.070	1.080	1.090	1.100	1.150	1.200
2	0.508	0.515	0.523	0.530	0.538	0.545	0.553	0.561	0.568	0.576	0.615	0.655
3	0.340	0.347	0.354	0.360	0.367	0.374	0.381	0.388	0.395	0.402	0.438	0.475
4	0.256	0.263	0.269	0.275	0.282	0.289	0.295	0.302	0.309	0.315	0.350	0.386
5	0.206	0.212	0.218	0.225	0.231	0.237	0.244	0.250	0.257	0.264	0.298	0.334
6	0.173	0.179	0.185	0.191	0.197	0.203	0.210	0.216	0.223	0.230	0.264	0.301
7	0.149	0.155	0.161	0.167	0.173	0.179	0.186	0.192	0.199	0.205	0.240	0.277
8	0.131	0.137	0.142	0.149	0.155	0.161	0.167	0.174	0.181	0.187	0.223	0.261
9	0.117	0.123	0.128	0.134	0.141	0.147	0.153	0.160	0.167	0.174	0.210	0.248
10	0.106	0.111	0.117	0.123	0.130	0.136	0.142	0.149	0.156	0.163	0.199	0.239
11	0.096	0.102	0.108	0.114	0.120	0.127	0.133	0.140	0.147	0.154	0.191	0.231
12	0.089	0.095	0.100	0.107	0.113	0.119	0.126	0.133	0.140	0.147	0.184	0.225
13	0.082	0.088	0.094	0.100	0.106	0.113	0.120	0.127	0.134	0.141	0.179	0.221
14	0.077	0.083	0.089	0.095	0.101	0.108	0.114	0.121	0.128	0.136	0.175	0.217
15	0.072	0.078	0.084	0.090	0.096	0.103	0.110	0.117	0.124	0.131	0.171	0.214
16	0.068	0.074	0.080	0.086	0.092	0.099	0.106	0.113	0.120	0.128	0.168	0.211
17	0.064	0.070	0.076	0.082	0.089	0.095	0.102	0.110	0.117	0.125	0.165	0.209
18	0.061	0.067	0.073	0.079	0.086	0.092	0.099	0.107	0.114	0.122	0.163	0.208
19	0.058	0.064	0.070	0.076	0.083	0.090	0.097	0.104	0.112	0.120	0.161	0.206
20	0.055	0.061	0.067	0.074	0.080	0.087	0.094	0.102	0.110	0.117	0.160	0.205
25	0.045	0.051	0.057	0.064	0.071	0.078	0.086	0.094	0.102	0.110	0.155	0.202
30	0.039	0.045	0.051	0.058	0.065	0.073	00.081	0.089	0.097	0.106	0.152	0.201
35	0.034	0.040	0.047	0.054	0.061	0.069	0.077	0.086	0.095	0.104	0.151	0.200
40	0.030	0.037	0.043	0.051	0.058	0.066	0.075	0.084	0.093	0.102	0.151	0.200
50	0.026	0.032	0.039	0.047	0.055	0.063	0.072	0.082	0.091	0.101	0.150	0.200

Tableau B : facteurs moyens

Taux d'intérêts du capital : 1 % Durée d'amortissement en années	Augmentation des prix								
	-2.0%	-1.0%	0.0%	1.0%	2.0%	3.0%	4.0%	5.0%	6.0%
5	0.942	0.971	1.000	1.030	1.061	1.093	1.126	1.159	1.194
10	0.898	0.947	1.000	1.056	1.115	1.178	1.245	1.315	1.391
15	0.857	0.925	1.000	1.082	1.172	1.270	1.378	1.497	1.627
20	0.810	0.904	1.000	1.108	1.231	1.370	1.529	1.708	1.913
25	0.785	0.884	1.000	1.135	1.294	1.479	1.698	1.955	2.259
30	0.754	0.865	1.000	1.162	1.359	1.598	1.889	2.244	2.679

Taux d'intérêts du capital : 2 % Durée d'amortissement en années	Augmentation des prix								
	-1.0%	0.0%	1.0%	2.0%	3.0%	4.0%	5.0%	6.0%	7.0%
5	0.971	1.000	1.030	1.061	1.092	1.125	1.158	1.192	1.227
10	0.948	1.000	1.055	1.113	1.175	1.241	1.310	1.384	1.462
15	0.927	1.000	1.080	1.167	1.263	1.368	1.484	1.610	1.749
20	0.907	1.000	1.105	1.223	1.357	1.509	1.682	1.877	2.099
25	0.889	1.000	1.129	1.281	1.457	1.664	1.908	2.194	2.530
30	0.872	1.000	1.154	1.339	1.564	1.836	2.166	2.569	3.060

Taux d'intérêts du capital : 3 % Durée d'amortissement en années	Augmentation des prix								
	0.0%	1.0%	2.0%	3.0%	4.0%	5.0%	6.0%	7.0%	8.0%
5	1.000	1.030	1.060	1.092	1.124	1.157	1.191	1.226	1.261
10	1.000	1.054	1.111	1.172	1.237	1.305	1.378	1.454	1.536
15	1.000	1.078	1.163	1.256	1.359	1.471	1.593	1.727	1.875
20	1.000	1.101	1.215	1.344	1.490	1.655	1.842	2.054	2.295
25	1.000	1.124	1.268	1.436	1.632	1.861	2.130	2.446	2.817
30	1.000	1.146	1.320	1.531	1.784	2.091	2.463	2.915	3.467

Taux d'intérêts du capital : 4 % Durée d'amortissement en années	Augmentation des prix								
	1.0%	2.0%	3.0%	4.0%	5.0%	6.0%	7.0%	8.0%	9.0%
5	1.030	1.060	1.091	1.123	1.156	1.190	1.224	1.260	1.296
10	1.053	1.110	1.170	1.233	1.300	1.371	1.446	1.526	1.611
15	1.076	1.159	1.250	1.349	1.458	1.577	1.707	1.849	2.005
20	1.098	1.208	1.332	1.472	1.630	1.808	2.010	2.239	2.499
25	1.118	1.256	1.415	1.600	1.817	2.069	2.365	2.712	3.118
30	1.138	1.302	1.499	1.735	2.019	2.363	2.778	3.283	3.896

Taux d'intérêts du capital : 5 % Durée d'amortissement en années	Augmentation des prix								
	2.0%	3.0%	4.0%	5.0%	6.0%	7.0%	8.0%	9.0%	10.0%
5	1.060	1.091	1.122	1.155	1.180	1.223	1.258	1.294	1.331
10	1.108	1.167	1.229	1.295	1.365	1.439	1.517	1.600	1.688
15	1.155	1.243	1.340	1.445	1.560	1.686	1.824	1.974	2.139
20	1.200	1.319	1.454	1.605	1.775	1.968	2.186	2.432	2.711
25	1.244	1.395	1.570	1.774	2.011	2.288	2.611	2.990	3.433
30	1.285	1.469	1.688	1.952	2.268	2.650	3.111	3.669	4.347

Taux d'intérêts du capital : 6 % Durée d'amortissement en années	Augmentation des prix								
	3.0%	4.0%	5.0%	6.0%	7.0%	8.0%	9.0%	10.0%	11.0%
5	1.090	1.121	1.154	1.187	1.221	1.256	1.292	1.328	1.366
10	1.164	1.225	1.290	1.359	1.431	1.508	1.589	1.675	1,766
15	1.237	1.331	1.433	1.544	1.666	1.799	1.945	2.104	2.278
20	1.308	1.436	1.581	1.744	1.927	2.134	2.368	2.632	2.930
25	1.376	1.541	1.733	1.956	2.215	2.516	2.868	3.279	3.760
30	1.440	1.644	1.888	2.179	2.529	2.950	3.458	4.072	4.815

Taux d'intérêts du capital : 7 % Durée d'amortissement en années	Augmentation des prix								
	4.0%	5.0%	6.0%	7.0%	8.0%	9.0%	10.0%	11.0%	12.0%
5	1.121	1.153	1.186	1.219	1.254	1.290	1.326	1.363	1.401
10	1.222	1.285	1.353	1.424	1.499	1.579	1.663	1.752	1.846
15	1.322	1.421	1.529	1.647	1.776	1.916	2.069	2.237	2.420
20	1.419	1.558	1.713	1.888	2.085	2.306	2.559	2.838	3.156
25	1.514	1.694	1.903	2.145	2.426	2.754	3.135	3.579	4.099
30	1.603	1.829	2.097	2.418	2.802	3.263	3.818	4.489	5.299

Taux d'intérêts du capital : 8 % Durée d'amortissement en années	Augmentation des prix								
	4.0%	5.0%	6.0%	7.0%	8.0%	9.0%	10.0%	11.0%	12.0%
5	1.120	1.152	1.184	1.218	1.252	1.288	1.324	1.361	1.398
10	1.218	1.281	1.347	1.416	1.490	1.568	1.651	1.738	1.830
15	1.313	1.409	1.514	1.628	1.752	1.888	2.036	2.197	2.373
20	1.403	1.536	1.684	1.850	2.037	2.247	2.484	2.750	2.050
25	1.488	1.658	1.853	2.080	2.342	2.646	2.999	3.410	3.888
30	1.565	1.774	2.021	2.314	2.665	3.084	3.586	4.190	4.918

Taux d'intérêts du capital : 10 % Durée d'amortissement en années	Augmentation des prix								
	4.0%	5.0%	6.0%	7.0%	8.0%	9.0%	10.0%	11.0%	12.0%
5	1.118	1.150	1.182	1.215	1.249	1.283	1.319	1.355	1.393
10	1.211	1.271	1.335	1.402	1.473	1.548	1.627	1.711	1.799
15	1.296	1.387	1.485	1.592	1.708	1.835	1.972	2.122	2.285
20	1.373	1.494	1.629	1.780	1.948	2.137	2.349	2.587	2.854
25	1.440	1.590	1.763	1.961	2.189	2.451	2.754	3.105	3.511
30	1.497	1.676	1.886	2.122	2.425	2.771	3.182	3.673	4.259

Taux d'intérêts du capital : 15 % Durée d'amortissement en années	Augmentation des prix								
	4.0%	5.0%	6.0%	7.0%	8.0%	9.0%	10.0%	11.0%	12.0%
5	1.114	1.145	1.176	1.208	1.240	1.274	1.308	1.343	1.379
10	1.195	1.250	1.308	1.369	1.434	1.502	1.573	1.648	1.728
15	1.259	1.337	1.421	1.512	1.610	1.716	1.831	1.955	2.090
20	1.308	1.406	1-513	1.632	1.763	1.908	2.070	2.249	2.449
25	1.344	1.457	1.584	1.738	1.890	2.074	2.283	2.521	2.793
30	1.369	1.495	1.638	1.803	1.993	2.212	2.468	2.765	3.113

Tableau C:
Durée d'utilisation/frais d'exploitation (entretien et maintenance)

Les indications se rapportent à la durée d'utilisation pendant laquelle un système d'énergie, respectivement une mesure d'économie devrait être amortie.

Dans des conditions favorables et moyennant un entretien approprié, la durée de vie effective d'une installation ou d'une partie d'installation peut être supérieure à celle indiquée dans le tableau. Inversement, la durée de vie effective peut aussi être considérablement inférieure à celle indiquée dans le tableau à la suite d'une erreur ou d'un vice au niveau du matériau, de la préfabrication ou du montage.

Nous n'indiquons ci-après que les installations et mesures d'économie les plus fréquemment utilisées avec leur durée d'amortissement et leurs frais d'exploitation (frais d'entretien et de maintenance). Pour de plus amples informations, nous renvoyons aux publications «Durée d'amortissement» de l'Office des constructions fédérales, «Installations techniques dans l'étude intégrale» de l'Office fédéral des questions conjoncturelles ainsi qu'à la norme SIA 380/1.

	Durée d'amortissement en années	Frais d'exploitation (entretien et maintenance)	
		En % de la valeur de l'installation[1)]	Autre grandeur comparative
Production de chaleur			
Appareils de chauffage électriques à accumulation, appareils de chauffage direct	15	2	
Chaudières à mazout/gaz, brûleurs	15	3	
Pompes à chaleur électrique	15	3	
Pompes à chaleur à gaz ou Diesel	15	5	
Petits groupes de couplage chaleur-force (gaz naturel) de 7–15 kWe	15	7[2) 3)]	6,0 ct./kWh$_e$[2) 3)]
Groupes de couplage chaleur-force à moteur industriel à gaz	15	3,5[3)]	2,5 ct./kWh$_e$[3)]
Groupes de couplage chaleur-force à turbine à gaz > 1 MWe	15	5[3)]	2,0 ct./kWh$_e$[3)]
Energie solaire, installations intégrales	20	2	
Capteurs et sondes terrestres	15	2	
Sous-stations d'immeuble pour chauffage à distance	15	2	
Chauffage au bois	15	à déterminer individuellement	
Conduites de chauffage	40	1	
Eau froide sanitaire	40	1	
Eau chaude sanitaire	25	2	
Conduites de distribution de chaleur à distance	30	2	
Surfaces chauffantes			
Corps de chauffe	30	1	
Chauffage par le sol	25	1,5	
Régulations	15	3	
Vannes thermostatiques	15	3	

1) En règle générale, la valeur de l'installation correspond à la dépense totale pour l'installation rendue posée (par exemple groupe, y compris conduites et raccordements).

2) Les frais d'entretien et de maintenance relativement élevés comprennent des moteurs de rechange, ce qui correspond à une «rénovation partielle»; même avec de petits groupes de couplage chaleur-force, on peut ainsi compter avec une durée d'amortissement de 15 ans.

3) Sans frais de maintenance pour le catalyseur. Pour la maintenance du catalyseur, il faut en outre compter 1,0 centime/kWh ou 1 à 2% de la valeur de l'installation.

	Durée d'amortissement en années	Frais d'exploitation (entretien et maintenance)	
		En % de la valeur de l'installation[1)]	Autre grandeur comparative
Pompes			
Pompes à aubes	15	2	
Pompes in-line	15	2	
Pompes sur socle	20	2	
Echangeurs de chaleur			
pour récupération de chaleur	15	3	
à circuit fermé	15	4	
rotatifs	15	5	
Eau chaude			
Accumulateurs d'eau chaude	15	2	
Chauffe-eau instantanés	15	3	
Installations de ventilation	15	3,5	
Installations de climatisation	15	4	
Installations frigorifiques > 300 kW1	15	3	
Isolation thermique			
de conduites	20	1	
Isolation complémentaire sur l'enveloppe d'un bâtiment	30	1	
Fenêtres	30	1,5	
Volets roulants, stores à lamelles	20	4	
Appareils électriques			
Appareils de cuisson et de chauffage	12	—	
Cuisinières	15	—	
Armoires frigorifiques	12	—	
Lave-vaisselle	10	5	
Machines à laver automatiques	10	5	
Tumblers/séchoirs	10	5	
Lampes			
Lampes à incandescence	1000 h		
Lampes fluorescentes	8000 h		
Luminaires	12		
Moteurs d'ascenseurs et monte-charge	15		

12.2 Prescriptions, recommandations, normes, directives

1. SIA 380/1
L'énergie dans le bâtiment (1988)
Société suisse des ingénieurs et des architectes, 8039 Zurich et 1001 Lausanne

2. SIA 380/3
Isolation thermique des conduites, canalisations et réservoirs du bâtiment (1991)
Société suisse des ingénieurs et des architectes, 8039 Zurich et 1001 Lausanne

3. SIA 380/7
Le domaine des installations du bâtiment (1985)
Société suisse des ingénieurs et des architectes, 8039 Zurich et 1001 Lausanne

4. SIA 385/3
Alimentation du bâtiment en eau chaude sanitaire (1991)
Société suisse des ingénieurs et des architectes, 8039 Zurich et 1001 Lausanne

5. W 3
Directives pour la réalisation d'installations d'eau
Société suisse de l'industrie du gaz et des eaux, 8027 Zurich

6. SIA 380/4
L'énergie électrique dans le bâtiment (en travail)
Société suisse des ingénieurs et des architectes,8039 Zurich et 1001 Lausanne

7. G 1
Directives gaz (1989)
Société suisse de l'industrie du gaz et des eaux, 8027 Zurich

8. G 3
Directives pour chauffages au gaz avec puissance nominale supérieure à 70 kW et pression de service jusqu'à 5 bar (1989)
Société suisse de l'industrie du gaz et des eaux, 8027 Zurich

9. SWKI N° 88-3
Calcul du coût d'exploitation d'équipements thermotechniques (1988)
Société suisse des ingénieurs en chauffage et climatisation

10. ASMI
Directives pour l'isolation thermique d'installations techniques (1986)
Association suisse des maisons d'isolation, 8000 Zurich

11. OFSP
Recommandations «Légionelles»
Office fédéral de la santé publique, 3000 Berne

12. UCSE
Réduction des puissances connectées de chauffe-eau électriques
Union des Centrales Suisses d'Electricité, 8023 Zurich

12.3 Bibliographie

1. USTSC
Manuel SI (1992)
Union suisse des professionnels de la technique sanitaire et chauffage, 3400 Burgdorf

2. K. Bösch et Otto Fux
L'alimentation en eau chaude aujourd'hui (1984) (n'existe pas en français)
AT Verlag, 5000 Aarau

3. Office fédéral des questions conjoncturelles
L'eau dans les installations du bâtiment (1987)
Programme d'impulsions installations techniques des bâtiments,
Office central fédéral des imprimés et du matériel, 3000 Berne

4. ASMFA
Utilisation améliorée de l'énergie de l'énergie dans les installations techniques du bâtiment (1991)
Association suisse des maîtres ferblantiers et appareilleurs, 2001 Neuchâtel

5. Office fédéral des questions conjoncturelles
Guide pour l'amélioration thermique des bâtiments
Programme d'impulsions installations techniques des bâtiments,
Office central fédéral des imprimés et du matériel, 3000 Berne

6. LWB
Cours sur l'eau chaude WBK (n'existe pas en français)
A. Probst, 3400 Burgdorf

7. INFEL-Info
Utilisation de l'électricité dans la pratique (1984)
Office d'information pour l'utilisation de l'électricité, 8023 Zurich

8. Publication SI
Pertes d'accumulateurs d'eau chaude en état de veille (1991)
W. Kubik, 3000 Berne

9. Office fédéral des questions conjoncturelles
Le mesurage dans les installations techniques des bâtiments
Programme d'impulsions installations techniques des bâtiments,
Office central fédéral des imprimés et du matériel, 3000 Berne

10. Office fédéral des questions conjoncturelles
RAVEL se révèle payant (1992)
Programme d'impulsions installations techniques des bâtiments,
Office central fédéral des imprimés et du matériel, 3000 Berne

Associations de soutien

ASCV

Association suisse des entreprises
de chauffage et de ventilation

ASMFA

Association suisse des
maîtres ferblantiers et appareilleurs

INFEL

Centre d'information
pour les applications de l'électricité

SBHI

Société suisse des ingénieurs conseils
de la technique du bâtiment
et de l'énergie

SFCV

Association suisse des maîtres
professionnels des installations
du bâtiment

SICC

Société suisse des ingénieurs
en chauffage et climatisation

USTSC

Union suisse des professionnels
de la technique sanitaire et chauffage

UTS

Union technique suisse

ISBN 3-905233-55-X

Edition originale : ISBN 3-905233-13-14