

Production d'eau chaude solaire

Dimensionnement
montage
mise en service
entretien



Production d'eau chaude solaire

Dimensionnement, montage, mise en service, entretien

L'utilisation de l'énergie solaire constitue un défi pour les spécialistes des branches sanitaire et chauffage: une installation solaire est encore une nouveauté pour la plupart de ces professionnels. La maîtrise de ces techniques est un investissement pour le futur des entreprises. En effet, la réalisation d'installations solaires aide à maintenir des places de travail, à en créer de nouvelles et génère des bénéfices.

Le cours PACER «Production d'eau chaude solaire - Dimensionnement, montage, mise en service, entretien» et le manuel d'accompagnement apportent leur soutien aux spécialistes des branches sanitaire et chauffage lors de la conception et de la réalisation d'installations. Ils leur permettent d'acquérir les compétences professionnelles nécessaires pour saisir leur chance et relever le défi solaire.

Le manuel présente tout d'abord les données météorologiques de base, les principaux types de capteurs, leur fonctionnement et leur construction. Puis il donne les règles permettant à chacun de dimensionner une installation solaire, de la construire, de la mettre en service et de l'entretenir.

Les divers types d'installations solaires traitées en détail sont :

- production d'eau chaude sanitaire pour maisons familiales;
- production d'eau chaude sanitaire pour immeubles locatifs et pour d'autres bâtiments ayant d'importants besoins en eau chaude sanitaire;
- production d'eau chaude sanitaire avec participation au chauffage pour maisons familiales.

En complément le manuel décrit le déroulement des opérations depuis l'avant projet jusqu'à l'obtention du permis de construire et d'éventuelles subventions, en passant par la discussion du prix, le relevé des données nécessaires, la détermination de l'emplacement des capteurs et le choix de l'énergie d'appoint.

ISBN 3-905232-28-8

Edition originale: ISBN 3-905232-16-2

1994, 237 pages

N° de commande 724.213 f

Production d'eau chaude solaire

Dimensionnement, montage,
mise en service, entretien

Conception, rédaction et réalisation de l'édition originale allemande

Groupe de travail

- Blum Bernhard, Fritz Krebs & Co AG, 3270 Aarberg
- Flück Peter, Flück Haustechnik AG, 3855 Brienz
- Jobin Claude, Agena SA, 1510 Moudon
- Wiest Marcel, Ernst Schweizer AG, 8908 Hedingen

Illustrations

- Blum Bernhard
- Heimlicher Markus
- Jobin Claude
- Wiest Marcel

Photos

- Blum Bernhard
- Jobin Claude



Adaptation française

Rédaction

- Jobin Claude, Agena SA, 1510 Moudon

Collaborateurs

- Blicklé Daniel, Montezillon
- Zahn Olivier, Lausanne
- Maiurano Tony
- Roulet Claude-Alain, Apples

Traduction

- Keller Lucien, Lavigny

Mise en page et photocomposition

- Consortium DAC/CITY COMP SA, Lausanne et Morges

Association de soutien

UVACIM Union vaudoise des associations commerciales, industrielles et des métiers

ISBN 3-905232-28-8

Edition originale: ISBN 3-905232-16-2

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 (N° de commande 724.213 f)

Form. 724.213 f 7.94 1000 U19639

Avant-Propos

D'une durée totale de 6 ans (1990-1995), 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 – énergies renouvelables

Ces trois programmes d'impulsions sont réalisés en étroite collaboration avec l'économie privée, les écoles et la Confédération. Ils doivent favoriser une croissance économique qualitative et, par là, 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.

Jusqu'ici, si l'on fait abstraction du potentiel hydro-électrique, la contribution des énergies renouvelables à notre bilan énergétique est négligeable. Aussi le programme PACER a-t-il été mis sur pied afin de remédier à cette situation. Dans ce but le programme cherche:

- à favoriser les applications dont le rapport prix/performance est le plus intéressant;
- à apporter les connaissances nécessaires aux ingénieurs, aux architectes et aux installateurs;
- à proposer une approche économique nouvelle qui prenne en compte les coûts externes;
- à informer les autorités, ainsi que les maîtres de l'ouvrage.

Cours, manifestations, publications, vidéos, etc.

Le programme PACER se consacre, en priorité, à la formation continue et à l'information. Le transfert de connaissances est basé sur les besoins de la pratique. Il s'appuie essentiellement sur des publications, des cours et d'autres manifestations. Les ingénieurs, architectes, installateurs, ainsi que les représentants de certaines branches spécialisées, en constituent le public cible. La diffusion plus large d'informations plus générales est également un élément important du programme. Elle vise les maîtres de l'ouvrage, les architectes, les ingénieurs et les autorités.

Le bulletin «Construction et Energie», qui paraît trois fois par an fournit tous les détails sur ces activités. Ce bulletin peut être obtenu gratuitement sur

simple demande. 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 des représentants des associations, des écoles et des branches professionnelles concernées.

Ce sont également les associations professionnelles qui prennent en charge l'organisation des cours et des autres activités. Pour la préparation de ces activités une direction de programme a été mise en place; elle se compose du Dr Jean-Bernard Gay, du Dr Charles Filleux de M. Jean Graf, du Dr Arthur Wellinger ainsi que de Mme Irène Wuillemin et de M. Eric Mosimann de l'OFQC. La préparation des différentes activités se fait au travers de groupes de travail, ceux-ci sont responsables du contenu de même que du maintien des délais et des budgets.

Documentation

Le présent document traite du thème de la préparation d'eau chaude et du chauffage à l'aide de l'énergie solaire. Les bases nécessaires à la conception, au dimensionnement, au montage et à l'entretien des installations y sont explicitement décrites. Ce document doit permettre de transmettre les connaissances nécessaires aux spécialistes en chauffage et sanitaire et leur permettre ainsi d'effectuer une conception et un montage corrects.

Après une mise en consultation et un cours pilote servant de test, ce document a été soigneusement retravaillé. La version française de l'ouvrage a été entièrement réécrite et des éléments importants y ont été adjoints. Les illustrations ont été améliorées ou complétées.

Les auteurs ont fait la synthèse d'éventuels avis divergents sur certains points particuliers. Ils ont tranché et sont dès lors responsables de leurs textes.

Des insuffisances qui pourraient être mises en évidence lors d'applications pratiques pourront être corrigées lors d'une éventuelle édition ultérieure. L'Office fédéral des questions conjoncturelles, le rédacteur ou directeur de cours responsable acceptent toute suggestion dans ce sens.

Que tous les participants à l'élaboration de cette publication soient remerciés ici pour leur précieuse collaboration.

Office fédéral des questions
conjoncturelles
Service de la technologie
Dr. B. Hotz-Hart
Vice-directeur

Table des matières

A	Introduction		7
	Pourquoi utiliser l'énergie solaire?	A1	7
	A qui s'adresse le cours et le manuel?	A2	8
	But du cours et du manuel	A2	8
	Limites du cours et du manuel	A2	8
	Comment utiliser ce manuel?	A3	9
<hr/>			
B	Bases		11
	Table des matières	B	11
	Météorologie	B1	13
	Capteurs solaires : principe – types – construction – usage	B2	20
	Fonctionnement d'une installation solaire	B3	32
	Marche à suivre pour l'étude et la réalisation d'une installation	B4	43
<hr/>			
C	Matériel		45
	Schéma de base d'une installation solaire	C	46
	Table des matières	C	47
	Matériel capteurs solaires	C1	49
	Conduites hydrauliques circuit solaire	C2	51
	Groupe hydraulique circuit solaire	C3	52
	Chauffe-eau sanitaire	C4	60
	Liquide caloporteur	C5	66
	Régulation circuit solaire	C6	67
<hr/>			
D	Production d'eau chaude sanitaire pour maisons familiales		69
	Schéma de l'installation standard	D1	70
	Table des matières	D2	71
	Critères économiques	D2	71
	Variantes et compléments au schéma de base	D3	72
	Procédure pour le dimensionnement d'une installation	D4	73
	Définition de l'installation standard	D5	74
	Installations standards prédimensionnées	D6	75
	Dimensionnement précis des composants	D7	76
	Récapitulation des données techniques	D16	92
	Exemple d'offre	D17	94
<hr/>			
E	Production d'eau chaude sanitaire pour immeubles locatifs et autres bâtiments ayant d'importants besoins en eau chaude sanitaire		97
	Schéma de l'installation standard	E1	98
	Table des matières	E2	100
	Variantes et compléments au schéma de base	E3	101
	Procédure pour le dimensionnement d'une installation	E4	103
	Définition de l'installation standard	E5	104
	Installations standards prédimensionnées	E6	105
	Dimensionnement précis des composants	E7	106
	Récapitulation des données techniques	E16	123
	Exemple d'offre	E17	125

F	Production d'eau chaude sanitaire et participation au chauffage des locaux pour maisons familiales		127
	Schéma de l'installation standard	F1	128
	Table des matières	F2	129
	Variantes et compléments au schéma de base	F3	130
	Procédure pour le dimensionnement d'une installation	F4	131
	Définition de l'installation standard	F5	133
	Installations standards prédimensionnées	F6	134
	Dimensionnement précis des composants	F7	136
	Récapitulation des données techniques	F16	153
	Exemple d'offre	F17	155

G	Montage, mise en service, entretien de l'installation		157
	Schéma de l'installation standard	G	158
	Table des matières	G	159
	Montage	G1	161
	Mise en service	G2	179
	Entretien	G3	189

H	Annexes		191
	Table des matières	H1	191
	Unités – Aspects énergétiques	H2	193
	Soleil – Terre	H3	196
	Exemple de test d'un capteur	H4	197
	Tabelles pour le dimensionnement du matériel	H5	204
	Tabelles caractéristiques antigél	H6	214
	Aspects financiers	H7	221
	Normes de sécurité lors du montage	H8	225
	Glossaire	H9	228
	Bibliographie	H10	231
	Adresses utiles	H11	232

	Liste des publications et vidéos du programme d'impulsions PACER		235
--	--	--	-----

A Introduction

1 Pourquoi utiliser l'énergie solaire?

1.1 L'énergie solaire est vitale. Sans énergie solaire il n'y aurait pas de vie sur terre!

Ainsi, ce «réacteur nucléaire extraterrestre» qu'est le soleil, nous fournit-il :

- le bois des forêts;
- les gisements de charbon, de pétrole, de gaz qui se sont formés durant des millions d'années;
- l'énergie hydraulique de nos lacs et rivières, qui sont continuellement alimentés par les nuages que le soleil a formés, et que l'homme a appris à utiliser sous forme d'électricité et de chaleur;
- l'énergie solaire directement utilisée par les capteurs.

L'énergie fournie par le soleil :

- ménage l'environnement et ne produit pas de déchets;
- est sûre et ne présente aucun risque;
- est gratuite et n'engendre pas de frais d'exploitation;
- est disponible en quantités quasi illimitées;
- est énergétiquement rentable;
- permet d'économiser des ressources non renouvelables.

1.2 L'énergie solaire constitue un défi et une chance pour les spécialistes en chauffage et en sanitaire, car :

- l'énergie solaire est l'objet d'un grand intérêt de la part de clients potentiels;
- le recours à l'énergie solaire est encouragé par les pouvoirs publics;
- l'utilisation de l'énergie solaire permet de sauvegarder, voire de créer, des postes de travail;
- la réalisation d'installations solaires génère des bénéfices pour l'entreprise.



2 A qui s'adresse le cours et le manuel ?

Ce manuel «Production d'eau chaude solaire – Dimensionnement, montage, mise en service, entretien» s'adresse aux ingénieurs, techniciens et installateurs en chauffage ou sanitaire, qui manifestent un intérêt pour l'énergie solaire et qui voient dans le travail lié à ces installations une chance pour le futur.



3 But du cours et du manuel

L'énergie solaire prend de plus en plus d'importance, car elle est une alternative intéressante aux moyens de production de chaleur conventionnels. Les spécialistes des branches chauffage et sanitaire ont tout avantage à se familiariser dès maintenant avec cette source d'énergie; les connaissances acquises leur permettront de saisir les opportunités qui se présenteront à eux.

Le but du cours «Production d'eau chaude solaire – Dimensionnement, montage, mise en service, entretien» est de transmettre un savoir-faire qui permettra une conception et un montage efficace de toute installation solaire. Le contenu de ce manuel sera traité en détail lors des cours; le manuel lui-même servira d'ouvrage de référence lors du travail quotidien des participants.

Un autre but des cours est d'apprendre à l'entrepreneur à coordonner la pose d'une installation avec les autres corps de métiers, qui peuvent être:

- le maçon;
- l'installateur électricien;
- le ferblantier-couvreur.



4 Limites du cours et du manuel

Le cours et le manuel ne traitent que des installations de production d'eau chaude pour les maisons familiales, les locatifs et autres bâtiments ayant d'importants besoins en eau chaude, ainsi que des installations mixtes de préparation d'eau chaude et de chauffage pour les maisons familiales.

5 Comment utiliser ce manuel ?

Conception du manuel

- Ce manuel est constitué de 8 chapitres, portant les dénominations de A à H
- La dénomination du chapitre est suivi d'une numérotation débutant par 1.
Exemples:
C1, C2, C3, etc. pour le chapitre C;
D1, D2, D3, etc. pour le chapitre D.
- L'en-tête de chaque chapitre comprend :
 - le titre du chapitre ;
 - la lettre correspondante ;
 - le numéro de la page du chapitre en question.
Exemple: Production d'eau chaude sanitaire dans les immeubles locatifs - E2
- La pagination se trouvant en bas de page se réfère à l'ensemble du manuel.
- Au début de chaque chapitre, une table des matières spécifique permet de retrouver rapidement chaque élément de l'installation et présente une vue d'ensemble des thèmes traités.

Vous participez au cours :

Le conférencier indique toujours les pages traitées durant son exposé, ce qui vous permet d'avoir sous les yeux les figures et schémas correspondants. Des espaces libres dans le manuel sont prévus pour vos annotations personnelles.

Vous désirez vous familiariser avec le rayonnement solaire :

Dans ce cas, consultez le chapitre *B. Bases* au paragraphe 1 – *Météorologie*.

Ce paragraphe vous donnera les bases théoriques nécessaires à la compréhension du rayonnement solaire.

Vous désirez en savoir plus sur les capteurs solaires, leur fonctionnement et leur utilisation :

Dans ce cas, consultez le chapitre *B. Bases* le paragraphe 2. *Capteurs solaires* et 3. *Fonctionnement d'une installation solaire*.

Ces paragraphes vous expliqueront le mode de fonctionnement des capteurs et des installations solaires. Vous apprendrez à distinguer les divers types de capteurs, comprendrez de manière précise leur fonctionnement et la façon la plus judicieuse de les mettre en œuvre. De plus, les tests effectués au technicum de Rapperswil sont présentés.



Vous désirez en savoir plus sur la procédure à suivre pour l'étude ou la réalisation d'une installation :

Dans ce cas, consultez le chapitre *B. Bases* au paragraphe 4. *Marche à suivre*.

Vous désirez choisir les matériaux nécessaires et comprendre leur fonction dans une installation solaire :

Dans ce cas, consultez le chapitre *C. Matériel*.

Une grande partie du matériel utilisé dans une installation solaire est du matériel usuel, connu des installateurs sanitaires et chauffage.

Le chapitre *C* rappelle les connaissances relatives à ce matériel, dans l'optique de son utilisation dans une installation solaire, afin d'en faciliter le choix le mieux adapté aux besoins.

Certains matériaux plus spécifiques aux installations solaires, tels que les raccords entre les capteurs, l'antigel, etc., sont également présentés.

Vous désirez :

- déterminer la taille d'une installation, que ce soit pour un projet ou une exécution ;
- faire une offre.

Suivant le cas envisagé, consultez l'un des trois chapitres suivants :

- D. Production d'eau chaude sanitaire pour maisons familiales*
- E. Production d'eau chaude sanitaire dans les immeubles locatifs*
- F. Production d'eau chaude sanitaire et participation au chauffage pour maisons familiales*

Ces chapitres permettent de dimensionner très rapidement l'installation de votre choix. Chaque chapitre est conçu selon la même trame, et vous y trouverez :

- le schéma de l'installation standard ;
- des variantes et compléments au schéma de base, avec des informations sur les principes de fonctionnement ;
- une table des matières ;
- un tableau synoptique récapitulant la marche à suivre pour dimensionner une installation.

Deux voies sont indiquées :

1. Marche à suivre pour une installation standard.
2. Marche à suivre dans le cas d'une installation non standard ou si un dimensionnement précis est désiré.
 - une récapitulation des données techniques ;
 - un exemple d'offre.

Vous effectuez le montage et la mise en service de l'installation :

Le chapitre *G. Montage, mise en service, entretien* vous donnera toutes les informations nécessaires au montage des capteurs et de l'installation solaire. Les erreurs à éviter ainsi que les points à respecter impérativement y sont mis en évidence.

Une description détaillée de la procédure à suivre lors de la mise en service vous montre les travaux à faire, les contrôles à effectuer ainsi que les instructions de service nécessaires.

Quel entretien est nécessaire, que faire en cas de panne ?

Le chapitre *G. Montage, mise en service, entretien* vous donnera au paragraphe « entretien » la liste de tous les défauts de fonctionnement possibles et la manière de les supprimer. Il vous donnera également une liste des contrôles à effectuer périodiquement afin que l'installation fonctionne longtemps de manière satisfaisante.

Ce que vous devez encore savoir...

Le chapitre *H. Annexes* réunit de nombreuses informations pratiques concernant divers points importants, tels que les aspects financiers, la rentabilité, les prescriptions de sécurité lors du montage, etc.

C'est également dans ce chapitre que vous trouverez des tables et diagrammes techniques dont certains vous sont nécessaires pour le dimensionnement d'une installation selon les chapitres *D, E* et *F*.

Conclusion

Ce manuel est certes passionnant, toutefois vous remarquerez bien vite qu'il ne se lit pas comme un roman ! Il est difficile d'assimiler toute la matière en une seule lecture.

Cet ouvrage sera donc avant tout un outil de travail que vous ouvrirez à la page idoine chaque fois que vous aurez besoin d'une réponse à une question précise.

Nous espérons par notre travail avoir créé un manuel qui vous soit utile.

Nous vous souhaitons beaucoup de plaisir et plein succès lors de la réalisation de vos futures installations solaires.



B Bases

Table des matières

			Page
1	Météorologie	B1	13
1.1	Le rayonnement solaire	B1.1	13
1.2	Rayonnement incident sur une surface horizontale	B1.2	14
1.3	Rayonnement incident sur une surface inclinée	B1.3	16
1.4	Orientation	B1.4	18
1.5	Ombres portées	B1.5	19
<hr/>			
2	Capteur solaire	B2	20
2.1	Qu'est-ce qu'un capteur solaire?	B2.1	20
2.2	Types et usage des capteurs solaires	B2.1	20
2.3	Le capteur plan	B2.3	21
2.4	Capteurs plans monobloc préassemblés	B2.4	22
2.5	Capteurs plans fournis en pièces détachées	B2.4	22
2.6	Les composants du capteur plan	B2.6	23
2.6.1	L'absorbeur	B2.6	23
2.6.2	La couverture transparente	B2.6	23
2.6.3	L'isolation thermique	B2.6	24
2.6.4	Le cadre	B2.6	24
2.7	Capteur à tubes évacués	B2.7	25
2.8	Capteur non vitré	B2.8	26
2.9	Tests des capteurs – performances	B2.9	27
2.10	Qualités et choix d'un capteur	B2.10	29
2.11	Calcul des apports solaires utilisables	B2.11	30
<hr/>			
3	Fonctionnement d'une installation solaire	B3	32
3.1	Installation standard	B3.1	32
3.2	Installation fonctionnant en thermosiphon	B3.2	34
3.3	Production d'eau chaude sanitaire	B3.3	35
3.4	Production d'eau chaude sanitaire et chauffage des locaux	B3.4	36
3.4.1	Accumulateurs combinés pour chauffage et eau chaude	B3.4	36
3.4.2	Système à injection directe	B3.4	38
3.4.3	Accumulateurs séparés pour chauffage et eau chaude	B3.4	39
3.5	Production d'eau chaude et chauffage de piscine	B3.5	40
3.6	Chauffage de piscine extérieure	B3.6	41
3.7	Flux et apports solaires	B3.7	42

4	Marche à suivre pour l'étude et la réalisation d'une installation	B4	43
4.1	Avant-projet	B4.1	43
4.2	Relever les données de l'installation	B4.1	43
4.3	Dimensionner l'installation	B4.1	43
4.4	Etablir l'offre précise	B4.1	43
4.5	Avant le montage	B4.2	44
4.6	Montage – mise en service – entretien	B4.2	44

1 Météorologie

1.1 Le rayonnement solaire

Le soleil émet, d'une manière uniforme, d'énormes quantités d'énergie dans l'espace.

La puissance émise par le soleil est d'environ 63 500 kW par m².

Du fait de la distance entre la terre et le soleil, qui est en moyenne de 150 millions de kilomètres, cette puissance se réduit à environ 1370 W par m² à la limite de notre atmosphère (fig. b01). Comme cette valeur ne varie pratiquement pas; on l'appelle la constante solaire.

La constante solaire est la puissance maximale que le rayonnement solaire pourrait atteindre à la surface de la terre si l'atmosphère ne l'affaiblissait pas.

En effet, une partie du rayonnement solaire est réfléchi par l'atmosphère (1), une autre partie y est absorbée ou diffusée (2) et le reste atteindra la surface de la terre (3).

La figure b01 illustre le cheminement du rayonnement solaire jusqu'à la terre.

Le rayonnement global est le rayonnement solaire restant à disposition à la surface de la terre. Il comprend:

- Le rayonnement direct, qui est la lumière nous parvenant directement du soleil par ciel clair. Pour un instant donné les rayons directs viennent d'une direction unique.
- Le rayonnement diffus, en particulier la lumière diffusée par les nuages. Les rayons diffus viennent de toutes les directions.

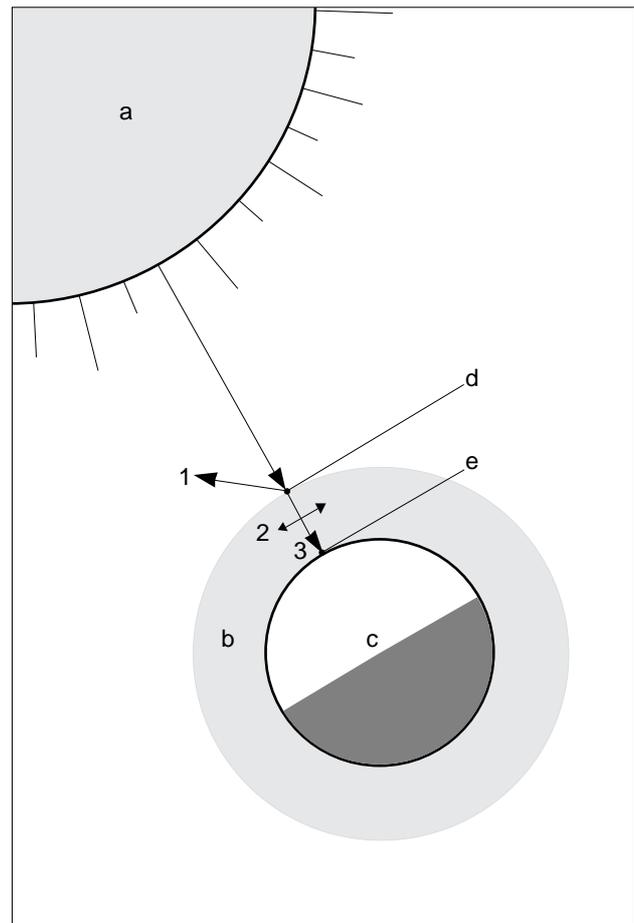


Figure b01

a. Soleil, puissance émise 63500 kW par m²

b. Atmosphère terrestre

c. Terre

d. Constante solaire 1370 W par m²

e. Rayonnement global maximum en plaine 1000 W par m²

1. Rayonnement solaire réfléchi

2. Rayonnement solaire absorbé ou diffusé

3. Rayonnement solaire sur la terre

La figure b02 illustre les divers composants du rayonnement solaire dans l'atmosphère.

- Valeurs du rayonnement global

Quand le soleil brille :

- Plateau, sud des Alpes 600 à 1000 W/m²
- En altitude 700 à 1200 W/m²

Par ciel couvert :

- En juin < 350 W/m²
- En décembre < 50 W/m²

- Définitions

La puissance est une valeur instantanée, qui s'exprime en W/m² pour le rayonnement frappant une surface.

L'énergie se rapporte à une période de temps ; c'est le produit de la puissance par le temps. Pour le rayonnement frappant une surface pendant un certain temps elle s'exprime en kWh/m². La période considérée peut être le jour, le mois, la saison ou l'année.

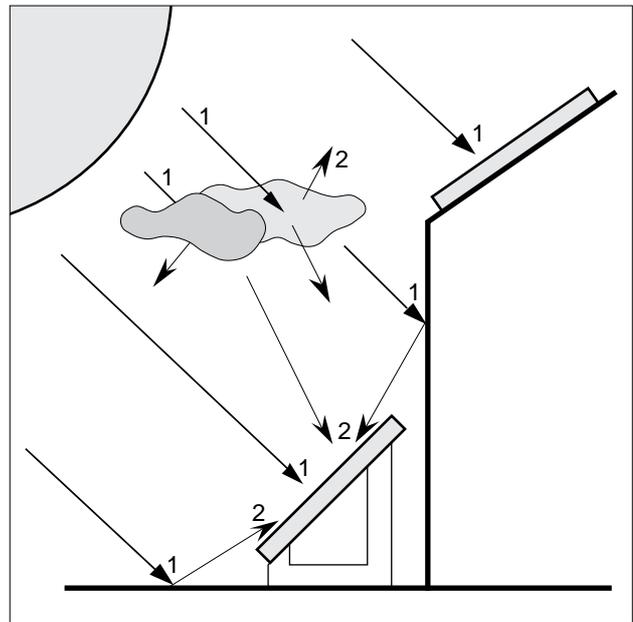


Figure b02

1. Rayonnement direct
2. Rayonnement diffus ou réfléchi

1.2 Le rayonnement incident sur une surface horizontale (figure b03)

Le soleil est fixe. La terre a un double mouvement ; rotation autour du soleil et rotation sur elle-même :

- la terre met 365 jours et 6 heures pour faire le tour du soleil, les 6 heures étant prises en compte toutes les années bissextiles.
- la terre tourne autour de son axe au rythme d'une fois toutes les 24 heures.

L'axe de rotation de la terre (1) est incliné de 23,3° par rapport à l'axe de la terre (2), ce qui provoque l'apparition des saisons (figure b03).

De ce fait, le rayonnement global mensuel sur la terre (3) et sa part de rayonnement diffus varie au cours de l'année. Ces variations sont représentées à la figure b04 pour Klotten.

A noter que le total du rayonnement global mensuel peut varier dans un rapport de 10 à 1 entre juillet et janvier.

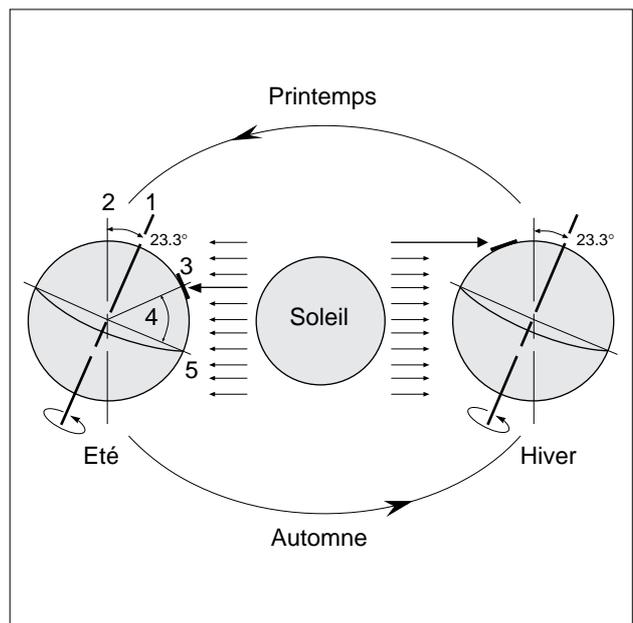


Figure b03

1. Axe de rotation de la terre sur elle-même
2. Axe de la terre
3. Surface terrestre
4. Latitude de la surface terrestre considérée
5. Equateur

Valeurs indicatives du rayonnement global

Régions climatiques

Kloten est la station météorologique de référence pour le Plateau Suisse, Davos pour les régions de montagne et Locarno pour la Suisse méridionale.

Le rayonnement solaire annuel global sur une surface horizontale prend les valeurs suivantes pour trois stations météorologiques dont on utilise souvent les données :

Lieu	Rayonnement annuel global kWh/m ²	Rayonnement annuel direct kWh/m ²	Rayonnement annuel diffus kWh/m ²
Kloten	1123	528	595
Davos	1323	701	622
Locarno	1378	799	579

Afin de pouvoir tenir compte des différences locales du rayonnement solaire, la Suisse a été divisée en 16 régions. Le tableau suivant donne les valeurs annuelles du rayonnement pour le lieu représentatif de chaque région :

N°	Lieu	Rayonnement global annuel en kWh/m ²	Part du rayonnement diffus en %
14	Lucerne	1109	55
1	Delémont	1126	55
2	Bâle	1141	54
16	Zurich	1123	53
14	Berne	1167	53
12	Brienz (BE)	1196	48
4	Monthey	1199	48
15	Glaris	1210	48
13	Fribourg	1216	47
3	Genève	1233	46
9	Locarno	1378	42
10	Davos	1323	47
5	Sion	1373	42
8	Airolo	1376	42
11	Reckingen	1394	46
6	Zermatt	1479	42

Comme la part du rayonnement diffus est toujours de l'ordre de 50%, on utilise en Suisse presque exclusivement des capteurs qui peuvent exploiter autant le direct que le diffus (par opposition aux capteurs fonctionnant uniquement par concentration).

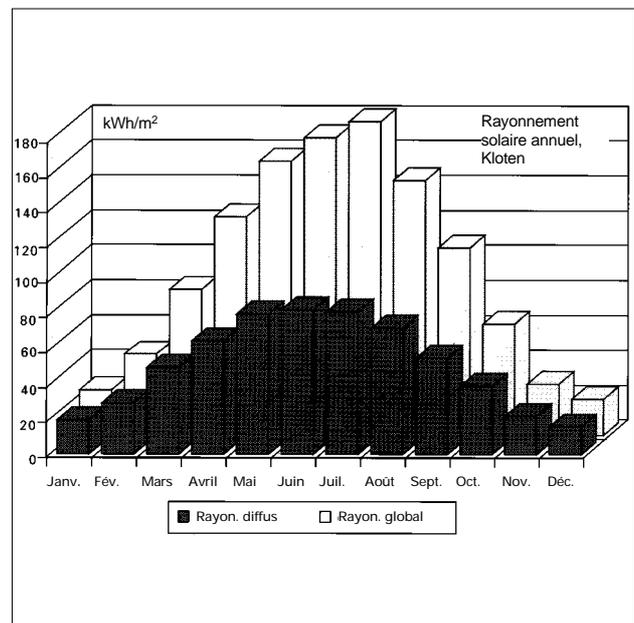


Figure b04
Rayonnement solaire annuel sur une surface horizontale, lieu Kloten

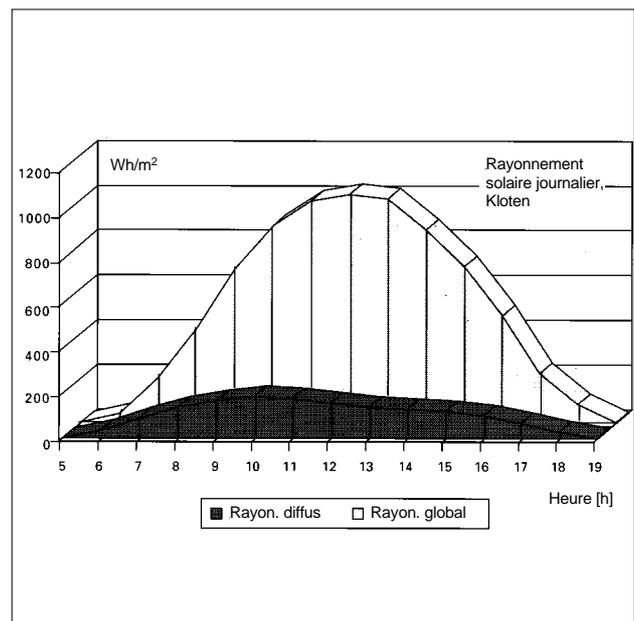


Figure b05
Rayonnement solaire journalier sur une surface horizontale, lieu Kloten (journée ensoleillée d'été)

1.3 Rayonnement incident sur une surface inclinée

Durant la révolution de la terre, la hauteur maximale du soleil varie dans une plage de 47° (figure b06). La variation de la position du soleil par rapport à la terre est indiquée à la page H3.1, au chapitre H.

Afin de bien exploiter le rayonnement solaire, la surface de captage devrait toujours être orientée autant que possible perpendiculairement à ce rayonnement (fig. b06). Toutefois comme la position du soleil par rapport à la terre varie continuellement, l'angle incident du rayonnement sur le capteur varie également (fig. b07).

Aussi choisit-on l'inclinaison des capteurs la mieux adaptée au moment où le soleil brille le plus, c'est-à-dire aux environs de midi.

La saison pour laquelle on effectue ce choix dépend des besoins en énergie correspondants.

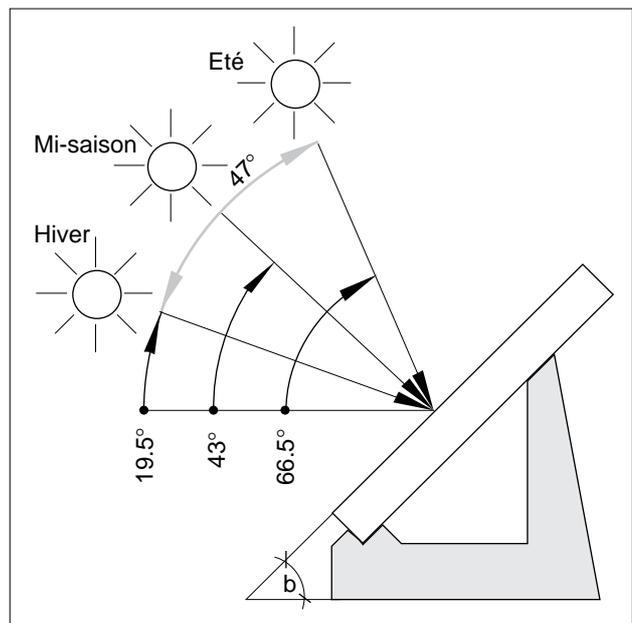


Figure b06
Hauteur du soleil sur l'horizon au fil des saisons

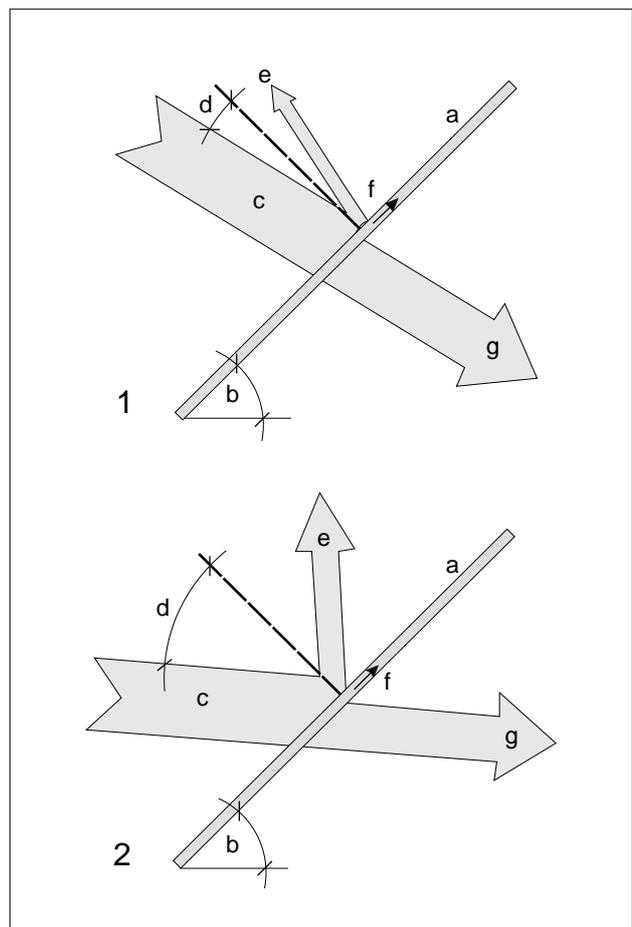


Figure b07
Transmission du rayonnement solaire par la couverture du capteur. La partie du rayonnement qui est absorbée dépend de la composition de la couverture.

1. La transmission est bonne pour de petits angles d'incidence
2. Une grande partie du rayonnement est réfléchi lorsque l'angle d'incidence est grand

- a. Couverture transparente
- b. Angle d'inclinaison du capteur
- c. Rayonnement incident
- d. Angle d'incidence du rayonnement
- e. Rayonnement réfléchi
- f. Rayonnement absorbé
- g. Rayonnement transmis

Définition des angles d'inclinaison

Surface horizontale: 0°

Surface verticale: 90°

La figure b08 montre les valeurs de l'énergie incidente annuelle pour des surfaces présentant différentes inclinaisons, ceci pour le site de Kloten.

Comme la part du rayonnement diffus ne dépend que peu de l'orientation, une modification de l'inclinaison influencera surtout la contribution du rayonnement direct. Cela signifie que l'inclinaison aura moins d'importance dans une région présentant une part élevée de rayonnement diffus (p. ex. Aarau, avec 55% de diffus en moyenne annuelle) que dans une région où cette part est moins importante (p. ex. Locarno, avec 42% de diffus).

Pour bien exploiter le solaire en été, par exemple pour le chauffage de l'eau sanitaire ou le chauffage d'une piscine extérieure, une inclinaison relativement faible des capteurs, de l'ordre de 25 à 35°, est optimale.

Pour une utilisation durant toute l'année on recommande une inclinaison comprise entre 40 et 60°. Il est toutefois possible de placer les capteurs en façade (90°).

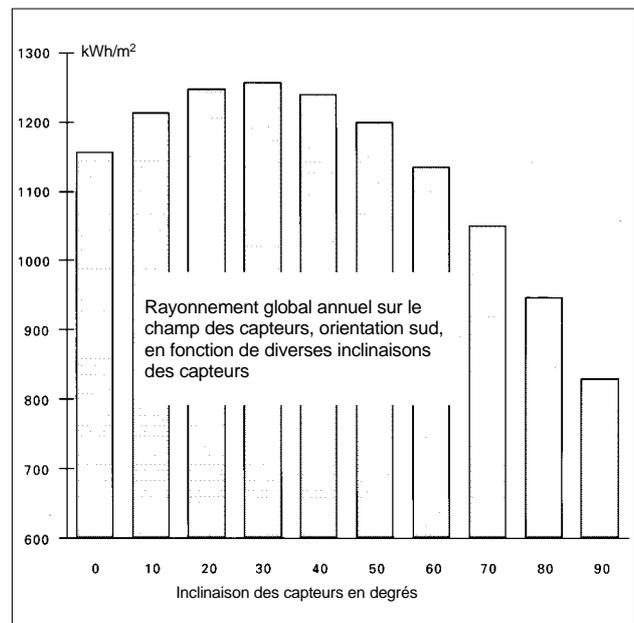


Figure b08
Rayonnement global annuel sur le champ des capteurs, orientation sud, lieu Kloten, en fonction de diverses inclinaisons des capteurs

1.4 Orientation

L'orientation de la surface, que l'on nomme aussi azimut, caractérise l'écart par rapport à une orientation plein sud de la surface de captage inclinée (fig. b09).

Définition des orientations

Est: -90°

Sud: 0°

Ouest: $+90^\circ$

L'orientation plein sud permet le captage le plus efficace de l'énergie solaire.

Toutefois une légère déviation de cette orientation optimale a généralement peu d'effet négatif.

Une orientation à l'est permet d'utiliser principalement le soleil du matin et de midi. Une orientation à l'ouest permet au contraire d'utiliser principalement le soleil de midi et du soir.

La figure b10 montre l'énergie incidente annuelle pour des surfaces ayant une orientation de plus en plus éloignée du sud.

On remarque que l'effet de l'orientation est peu marqué dans le cas de faibles inclinaisons et plus sensible dans le cas des fortes inclinaisons.

Recommandation

Une plus grande surface permet de compenser une orientation qui ne serait pas optimale.

Cette compensation est chiffrée dans les chapitres D à F, aux pages 7.3.

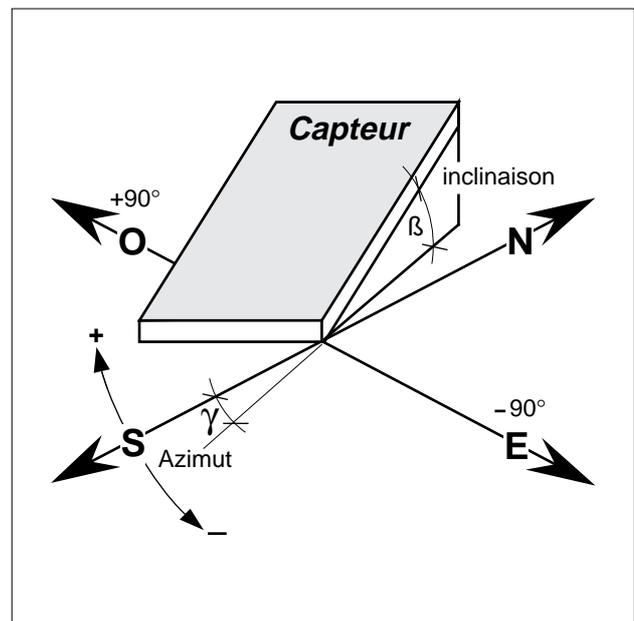


Figure b09

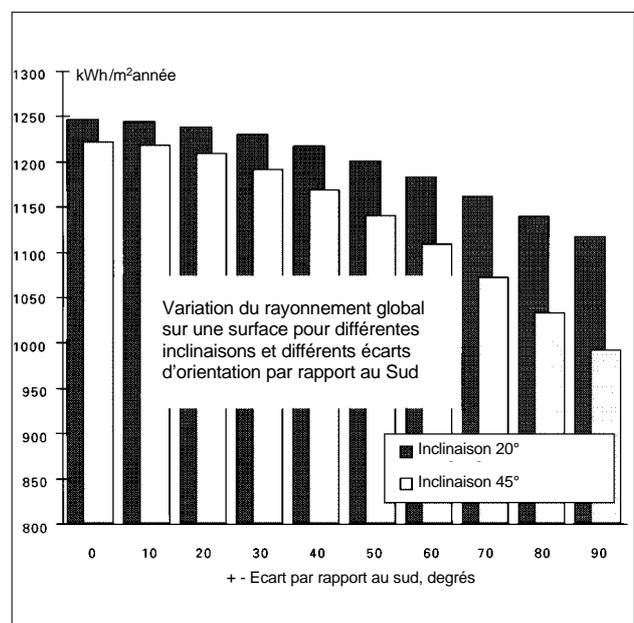


Figure b10

Variation du rayonnement global sur une surface pour différentes inclinaisons et différents écarts d'orientation par rapport au sud, lieu Kloten

1.5 Ombres portées

Bien des éléments peuvent porter ombre, totalement ou partiellement, au champ de capteurs :

- un horizon très haut, en particulier dans les vallées (collines, montagnes) ;
- de grands arbres ;
- des bâtiments élevés.

On peut admettre un peu d'ombre sur le champ des capteurs pour autant que celle-ci soit limitée au début et à la fin de la journée en été (soleil à une hauteur inférieure à 20° sur l'horizon).

Pour un angle d'incidence du rayonnement solaire de 20° , l'ombre portée d'un élément situé devant les capteurs est de 2,75 mètres par mètre de différence de hauteur entre les capteurs et l'élément (fig. b11).

Si pour un objet donné il est nécessaire de quantifier exactement cette ombre, il est recommandé de faire appel aux services d'un spécialiste disposant des outils de simulation informatique.

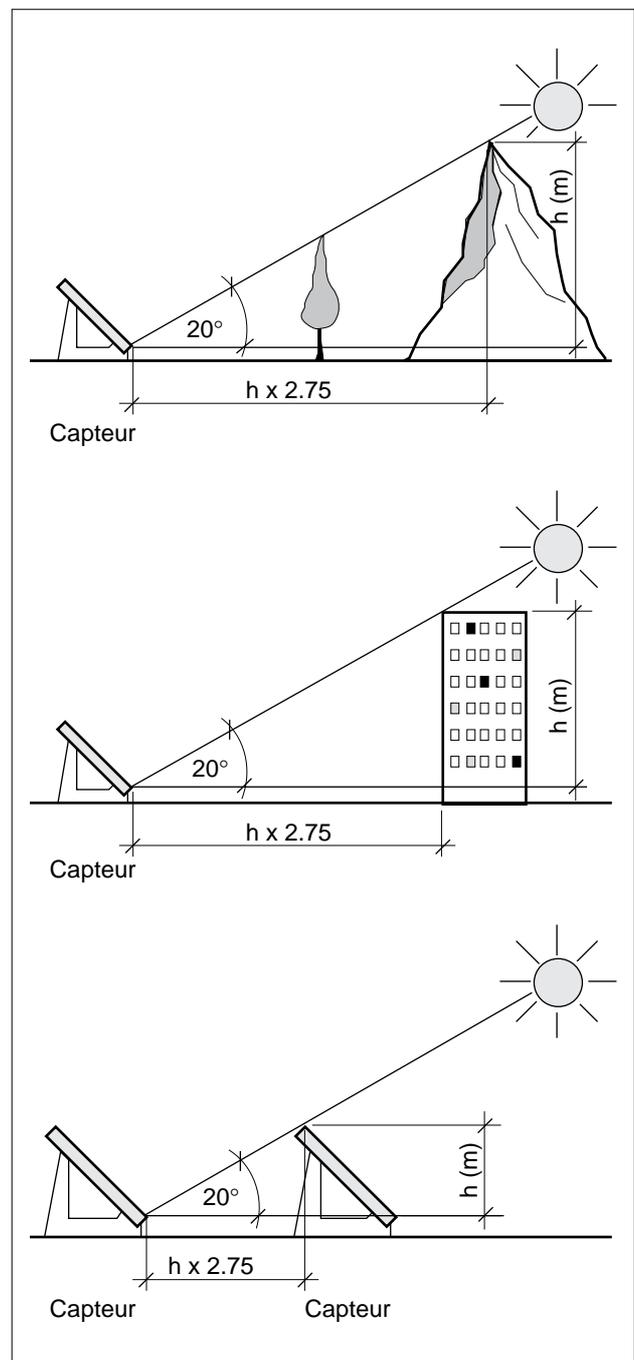


Figure b11

2 Capteur solaire

2.1 Qu'est-ce qu'un capteur solaire?

Le capteur solaire constitue le lien entre l'énergie solaire incidente et le consommateur. Le capteur transforme aussi efficacement que possible le rayonnement solaire en chaleur.

Le cœur du capteur est l'absorbeur noir, qui s'échauffe sous l'effet du rayonnement solaire. Il est construit de manière à contenir un fluide dont la circulation permettra de transférer la chaleur captée vers l'utilisateur.

Toute la chaleur captée ne peut être transmise au fluide caloporteur, car il y a des pertes, qui sont de trois types (voir fig. b12).

Pour que l'énergie captée par l'absorbeur puisse être utilisée avec un minimum de pertes, une isolation thermique judicieuse est nécessaire.

Sur la face avant du capteur cette isolation aura la forme d'une couverture transparente. Sur sa face arrière on utilisera un matériau isolant classique. Le vide d'air dans les capteurs évacués peut également servir d'isolant.

Le cadre sert à assembler le capteur, afin d'obtenir un ensemble solide résistant aux agents atmosphériques.

2.2 Types et usage des capteurs solaires

Il existe sur le marché de nombreux types de capteurs. Le choix s'effectuera selon :

- l'usage auquel ils sont destinés ;
- l'emplacement prévu.

Trois modèles de capteurs sont couramment utilisés.

- Capteurs plans :
conseillés pour moyennes températures de service ; 30-80°C.
- Capteurs à tubes évacués :
conseillés pour hautes températures de service ; plus de 70°C.
- Capteurs non vitrés :
conseillés pour basses températures de service ; moins de 40°C.

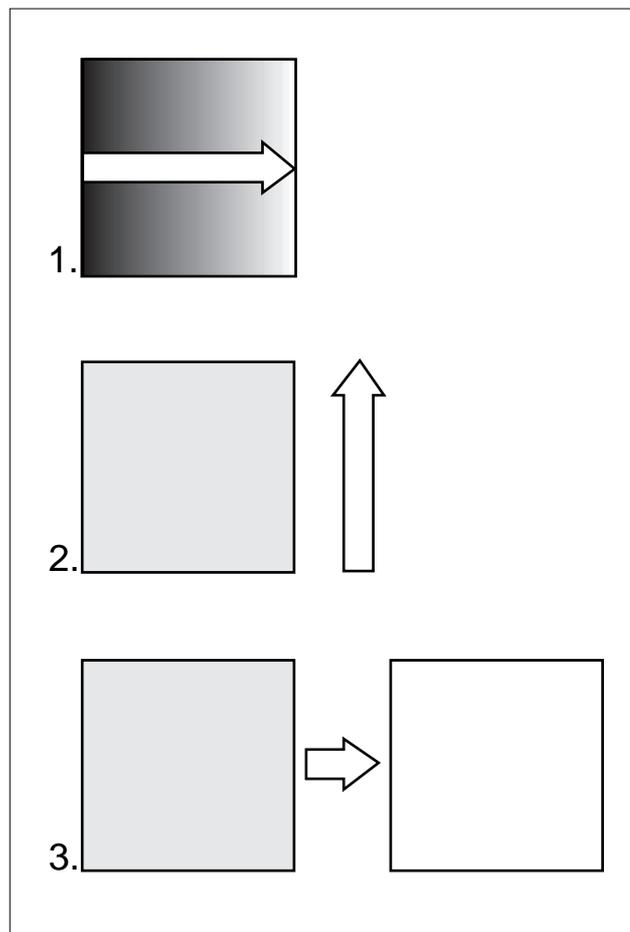


Figure b12

1. Conduction : la chaleur traverse une matière solide ou liquide.
2. Convection : de l'air s'échauffe le long d'une paroi chaude vers des zones plus froides où il cède sa chaleur.
3. Rayonnement : un corps chaud émet de l'énergie sous forme de rayonnement infrarouge vers un corps plus froid.

2.3 Le capteur plan (figures b13 et b14)

• Usage

Recommandé pour une plage de températures de service de 30 à 80°C.

Simple, solide, facile à mettre en œuvre, et d'un bon rapport performance/prix, c'est le type de capteur le plus utilisé pour la production d'eau chaude sanitaire et la participation au chauffage des locaux.

• Fonctionnement

Le rayonnement solaire (a) traverse la couverture transparente (1) en verre ou en matière synthétique. Il frappe ensuite l'absorbeur (2). C'est à la surface de celui-ci que le rayonnement solaire est converti en chaleur. Un liquide caloporteur (3) circule dans l'absorbeur et conduit la chaleur captée vers le consommateur.

Une partie de la chaleur captée retourne cependant à l'environnement du capteur et est perdue. Le capteur est construit afin de limiter au maximum ces pertes :

- La couverture transparente a la propriété de mieux laisser passer le rayonnement solaire que le rayonnement thermique (c), appelé aussi rayonnement infra rouge, émis par l'absorbeur. La chaleur est ainsi piégée dans le capteur (d) : c'est ce qu'on appelle l'effet de serre. La couverture évite de plus le refroidissement de l'absorbeur par le vent.
- L'efficacité du capteur est améliorée si l'absorbeur est revêtu d'une couche sélective. Ce traitement a la particularité de mieux absorber le rayonnement solaire qu'il ne réémet le rayonnement infrarouge.
- L'isolation (4) du cadre limite les pertes thermiques du capteur par les côtés (g) et l'arrière (h).

La couverture et le cadre (5) protègent l'intérieur du capteur des influences néfastes de l'environnement : pluie, poussières etc.

On peut obtenir les capteurs plans :

- sous forme d'éléments monoblocs déjà assemblés en atelier, prêts à être raccordés entre eux :
- sous forme de capteurs en pièces détachées, à assembler sur le chantier.

Propriétés du rayonnement

Le rayonnement solaire appartient au domaine des faibles longueurs d'onde.

Le rayonnement thermique, appelé aussi rayonnement infrarouge, est invisible ; il appartient au domaine des grandes longueurs d'onde.

Coupe d'un capteur plan

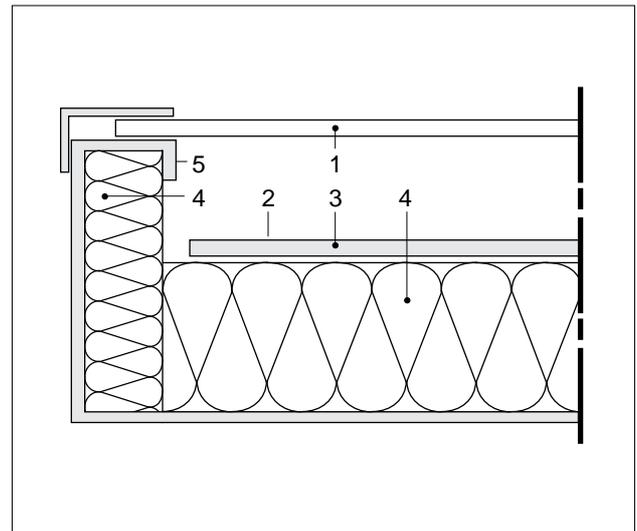


Figure b13 Construction

1. Couverture transparente (vitrage)
2. Absorbeur
3. Liquide caloporteur
4. Isolation latérale et inférieure
5. Cadre

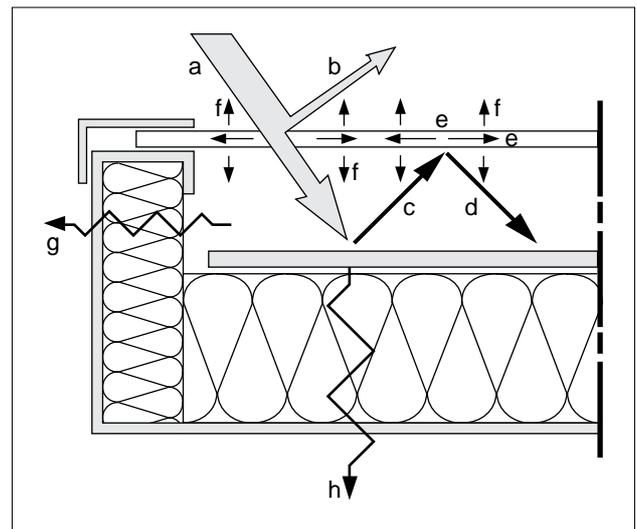


Figure b14 Rayonnements - Echanges thermiques

- a. Rayonnement solaire incident
- b. Rayonnement solaire réfléchi par le vitrage
- c. Rayonnement thermique émis par l'absorbeur
- d. Rayonnement thermique réfléchi par le vitrage
- e. Rayonnement thermique absorbé par le vitrage
- f. Rayonnement thermique émis par le vitrage
- g. Pertes thermiques latérales
- h. Pertes thermiques inférieures

2.4 Capteurs plans monoblocs préassemblés (figure b13)

- Implantation
 - sur toit plat ou terrain, montés sur supports en béton ou en métal;
 - monté sur toiture inclinée;
 - en façade:
 - comme balustrade de balcon, etc.
- Avantages

L'assemblage préalable en usine des composants du capteur monobloc offre les avantages suivants :

 - grand choix d'implantation des capteurs;
 - chaque capteur fabriqué à un rendement équivalent au capteur testé officiellement, car on évite les aléas d'un assemblage sur le chantier;
 - fabrication en série, délais courts;
 - livraison et stockage simple: les capteurs sont livrés emballés;
 - montage rapide sur le chantier, moins tributaire de mauvaises conditions atmosphériques;
 - montage facile, même par un installateur débutant dans la technique solaire.

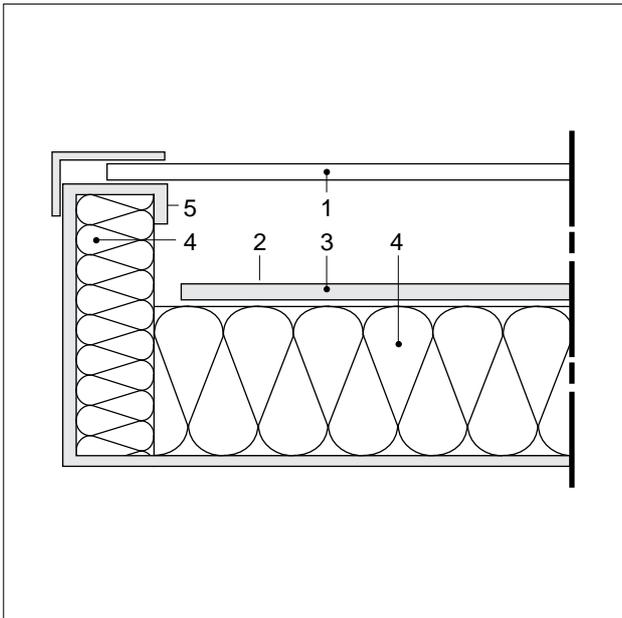


Figure b13

1. Couverture transparente (vitrage)
2. Absorbeur
3. Liquide caloporteur
4. Isolation latérale et inférieure
5. Cadre

2.5 Capteurs plans fournis en pièces détachées à assembler sur chantier (figure b15)

- Implantation

La principale application des capteurs livrés en pièces détachées est l'intégration en toiture inclinée. Des produits existent également pour réaliser des façades ou des parapets de balcon.
- Avantages
 - Pas d'espace entre les éléments ce qui diminue la surface nécessaire, donc aussi les pertes thermiques.
 - La surface à disposition est bien utilisée.
 - Peut être une solution économique pour de grandes installations.

Remarque:

Les connexions hydrauliques entre les absorbeurs sont difficiles à contrôler ultérieurement au montage. Pour cette raison on sera attentif à la qualité des matériaux et de l'exécution.

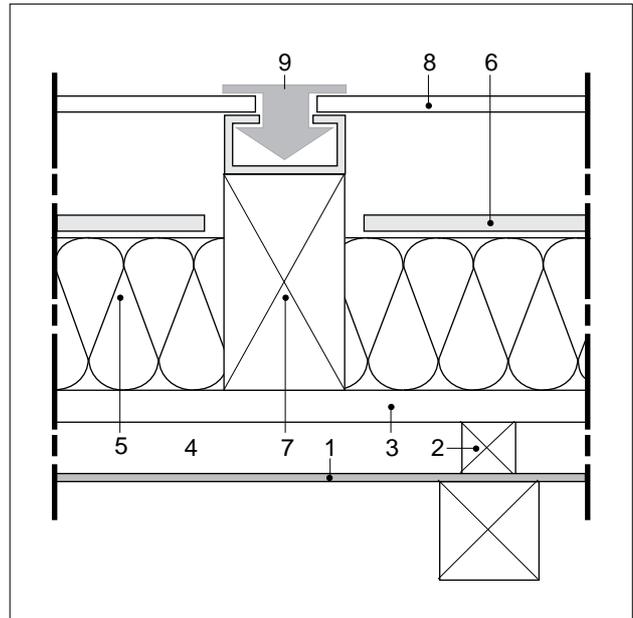


Figure b15

1. Sous-toiture étanche
2. Contrelattage
3. Lattage
4. Aération toiture
5. Isolation capteur
6. Absorbeur
7. Profilé
8. Vitrage
9. Profil d'étanchéité

2.6 Les composants du capteur plan

2.6.1 L'absorbeur

Dans tout capteur, l'absorbeur joue le rôle principal. Le choix du matériau et le mode de construction ont une grande influence sur la qualité du capteur.

Les absorbeurs des capteurs tant plans qu'à tubes évacués sont en cuivre, acier ou aluminium. Les absorbeurs en cuivre et en acier sont généralement revêtus d'une couche sélective.

On distingue plusieurs modes de construction :

- L'absorbeur à *ailettes* est constitué d'un tube, généralement en cuivre, sur lequel sont fixées des ailettes en cuivre, acier ou aluminium. Le liquide caloporteur circule dans les tubes (fig. b16).
- L'absorbeur à *coussin* est constitué de deux tôles en acier ou en acier inoxydable, soudées l'une à l'autre suivant un dessin bien précis. Le liquide caloporteur circule dans l'espace aménagé entre les tôles et irrigue ainsi pratiquement toute la surface de l'absorbeur (fig. b17).
- L'absorbeur « *Rollbond* » est constitué, tout comme l'absorbeur à *coussin* de deux tôles, mais cette fois en aluminium, assemblées selon le système « *Rollbond* ». Dans ce système de construction le liquide caloporteur circule dans les canaux aménagés entre les deux tôles assemblées (fig. b18).

2.6.2 La couverture transparente

Pour cette couverture on utilise principalement du verre sécurisé résistant aux chocs et contraintes mécaniques (grêle, neige) et aux chocs thermiques (brusque refroidissement en cas d'orage). Ce verre est de préférence pauvre en oxyde de fer et de ce fait est très transparent à l'entrée du rayonnement solaire. Dans le cas de capteurs intégrés en toiture on utilise aussi parfois des matières synthétiques.

Les avantages du verre sont sa bonne résistance au vieillissement (principalement par les rayons UV) et sa bonne résistance mécanique. Les couvertures en matière synthétique sont moins durables. Elles sont par contre plus légères, moins chères et plus facile à mettre en œuvre.

La plupart du temps le vitrage est légèrement structuré et disperse la fraction réfléchi du rayonnement solaire incident, afin de diminuer l'éblouissement éventuel (b, fig. b14).

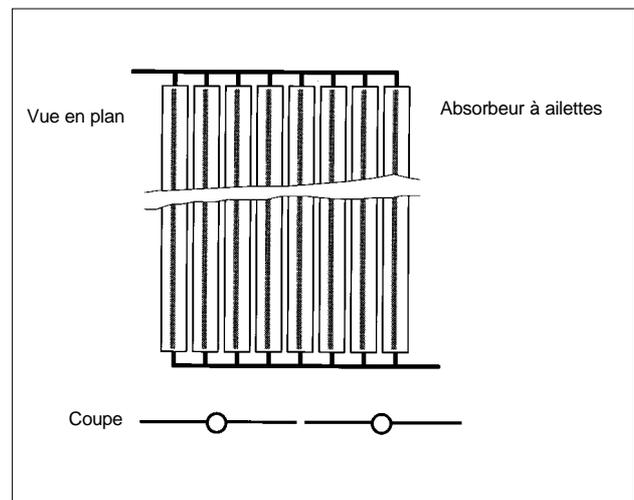


Figure b16

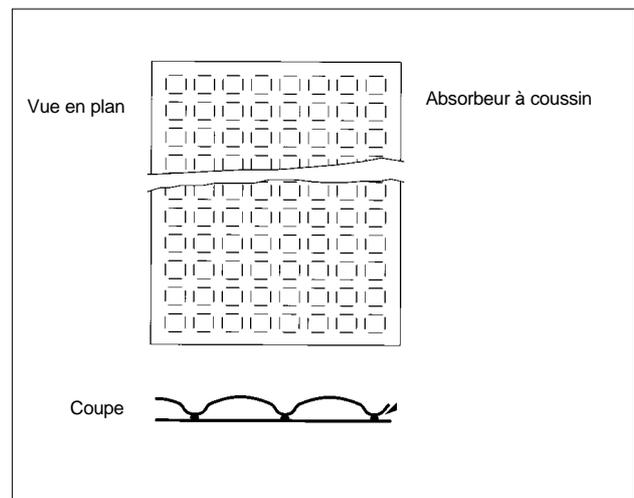


Figure b17

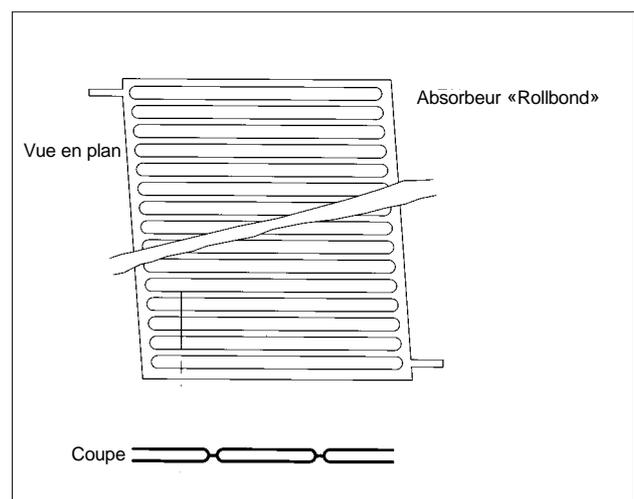


Figure b18

On distingue les capteurs avec un seul vitrage et revêtement sélectif de l'absorbeur, et ceux avec deux vitrages mais sans revêtement sélectif de l'absorbeur.

Les capteurs plans à vide d'air partiel appartiennent à la première catégorie ; le vide partiel sert d'isolant : il réduit les pertes par convection à l'intérieur du capteur.

2.6.3 L'isolation thermique

Les matières isolantes utilisées dans la construction des capteurs sont soit des laines minérales, soit des matières synthétiques. L'isolation doit être impu-trescible et résister aux hautes températures à l'intérieur du capteur.

Une isolation de ce type est inutile dans le cas des capteurs à tubes évacués puisque c'est le vide d'air dans les tubes qui crée l'effet isolant.

2.6.4 Le cadre

Le cadre doit résister aux agressions des conditions extérieures, aux contraintes intérieures et aux chocs éventuels lors du transport et du montage. Il doit donc être solide, tout en étant le plus léger possible.

Le cadre du capteur est en aluminium ou en acier. Le cadre des capteurs intégrés en toiture est protégé des intempéries et peut ainsi être valablement réalisé en bois.

2.7 Capteur à tubes évacués (figure b19)

- Usage

Recommandé pour des températures de service supérieures à 70°C.

Ses bonnes performances à haute température le destinent normalement à des applications où des températures de fonctionnement élevées sont requises: production d'eau chaude pour l'industrie etc.

Aux prix 1994, ce capteur est nettement plus cher qu'un capteur plan (rapport 2 à 1).

- Construction – Fonctionnement

Ces capteurs sont composés de plusieurs tubes en verre dans lesquels sont placés les absorbeurs. Ils sont ensuite reliés en série. Le vide d'air dans les tubes réduit les pertes par convection et par conduction. Pour le reste, un tel capteur fonctionne comme un capteur plan.

Ces capteurs sont d'une construction plus complexe que les capteurs plans et on veillera particulièrement à la qualité de leur exécution afin d'éviter des problèmes de maintenance ultérieure.

- Implantation

Les capteurs à tubes évacués se prêtent au montage en toiture et en parapet. Certains modèles offrent l'avantage de permettre la rotation des tubes de façon à compenser une orientation ou une inclinaison défavorable.

On veillera à l'implantation prévue: la neige glisse mal sur ce type de capteur et de la glace peut se former entre et sous les tubes.

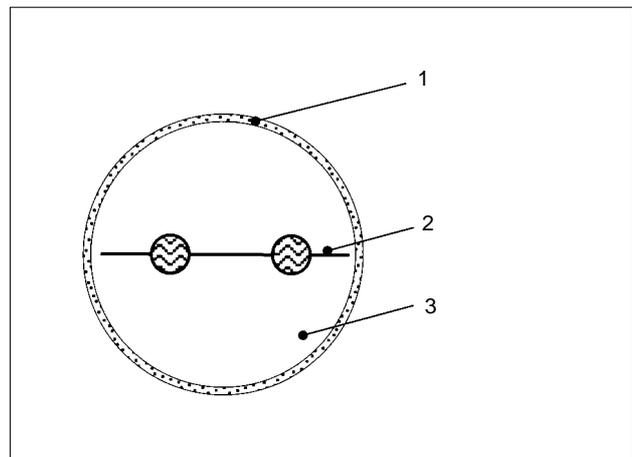


Figure b19

1. Tube cylindrique en verre
2. Absorbeur
3. Vide d'air

2.8 Capteur non vitré (figure b20)

- Usage

Recommandé pour des températures de service inférieures à 40°C.

Ce type de capteur pour basse température de service est particulièrement adapté au chauffage de piscine et au préchauffage de l'eau sanitaire.

- Construction - Fonctionnement

Ces capteurs sont composés d'un absorbeur nu, non isolé et non vitré.

Pour le chauffage de l'eau de piscine extérieure, les matériaux les plus utilisés sont des matières synthétiques comme le polyéthylène haute densité par exemple. Ces matières plastiques permettent une circulation directe de l'eau de la piscine dans les capteurs. Le capteur fonctionne à une température proche de la température ambiante: ses pertes thermiques sont faibles et son rendement est bon. C'est pourquoi, dans ces conditions, l'isolation et le vitrage sont superflus.

Si la piscine est utilisée durant la belle saison, ce type de capteur permet de réaliser des installations efficace et financièrement intéressantes.

Pour éviter les dégâts dus au gel, ces capteurs doivent impérativement être vidangés en hiver.

Des absorbeurs en acier inoxydable avec revêtement sélectif sont aujourd'hui également utilisés pour le chauffage d'eau de piscine et le préchauffage d'eau chaude sanitaire. Le liquide caloporteur est alors un mélange antigél et le système requiert un échangeur de chaleur. Grâce à l'antigel, une vidange hivernale n'est pas nécessaire.

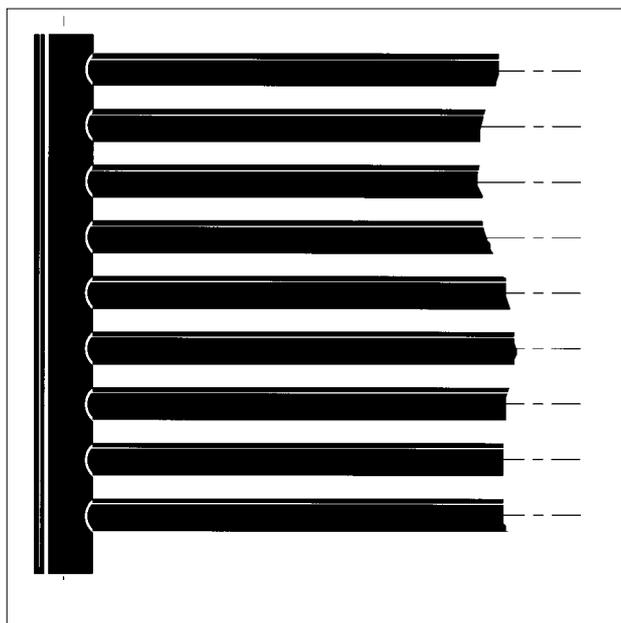


Figure b20

2.9 Tests des capteurs

Afin de pouvoir comparer objectivement les divers capteurs entre eux, divers tests sont effectués par un organisme neutre officiel. Ces tests concernent d'une part le rendement des capteurs, d'autre part leur durabilité.

En Suisse, cet organisme est la « Solarenergie Prüf- und Forschungsstelle » (SPF) au technicum intercantonal de Rapperswil (ITR) (fig. b21). Ce banc d'essai est une référence en Europe et des capteurs du monde entier y sont testés.

Les résultats des tests sont à disposition du public. De plus amples informations peuvent être obtenues auprès de :

INFOENERGIE
Rue de Tivoli 16
2300 Neuchâtel
Tél. 038/22.35.54
Fax 038/30.52.53

- Détermination des performances

Les tests ont lieu à l'extérieur, dans les conditions naturelles d'ensoleillement. En règle générale deux capteurs identiques sont testés et leurs performances sont comparées à celles de deux capteurs de référence. Cela permet d'appréhender les variations de la qualité d'un produit et de corriger des écarts dus à la saison.

Pour chaque capteur, les résultats des tests sont donnés sur plusieurs pages et comprennent, outre le nom du fabricant et du produit, des indications quant au type, aux dimensions, à la construction, au prix, ainsi qu'aux matériaux utilisés.

La performance mesurée est représentée graphiquement par la courbe de rendement du capteur (fig. b22 page 2.9.2). On peut y lire, pour chaque valeur du paramètre X, le rendement de captage correspondant.

Le paramètre X est le rapport de la différence de température entre l'absorbeur et l'air ambiant, au rayonnement solaire incident.

Il s'exprime en $m^2 K/W$.

Afin de pouvoir comparer ces rendements entre eux, on a défini trois points de fonctionnement caractéristiques, correspondant à trois valeurs du paramètre X, et pour chacun de ces trois points on donne le rendement du capteur.



Figure b21

η_{ch} est le rendement du capteur pour une valeur de $X=0$, c'est-à-dire quand la température moyenne du capteur est identique à la température ambiante. $\eta_{0.05}$ est le rendement du capteur pour une valeur de $X = 0.05$, c'est-à-dire par exemple dans les conditions suivantes: température moyenne du capteur 60°C , température ambiante 20°C (écart de température = 40 K), rayonnement global 800 W/m^2 .

Il s'agit là du rendement à prendre en considération lors du dimensionnement d'une installation destinée à la production d'eau chaude sanitaire.

$\eta_{0.1}$ est le rendement du capteur pour une valeur de $X = 0.1$, c'est à dire par exemple dans les conditions suivantes: température moyenne du capteur 100°C , température ambiante 20°C (écart de température = 80 K), rayonnement global 800 W/m^2 .

Il s'agit là du rendement à prendre en considération lors du dimensionnement d'une installation destinée à la production de chaleur pour un procédé industriel.

Le rapport de test comprend également l'énergie solaire brute pour les localités de Kloten, Davos et Locarno.

En plus des valeurs concernant le rayonnement global on y trouve, pour le capteur testé et pour diverses inclinaisons et orientations, l'énergie à disposition mois par mois, ainsi que les totaux annuels, pour des températures données.

Le rendement annuel moyen du capteur est également indiqué. On constate nettement un meilleur rendement des capteurs aux basses températures, car le capteur fonctionne alors avec moins de pertes thermiques. Pour cette raison, l'installation solaire devra toujours être réalisée de façon à permettre la température de fonctionnement des capteurs la plus basse possible.

Un exemple de résultats d'un tel test est donné au chapitre H Annexes, pages H4.

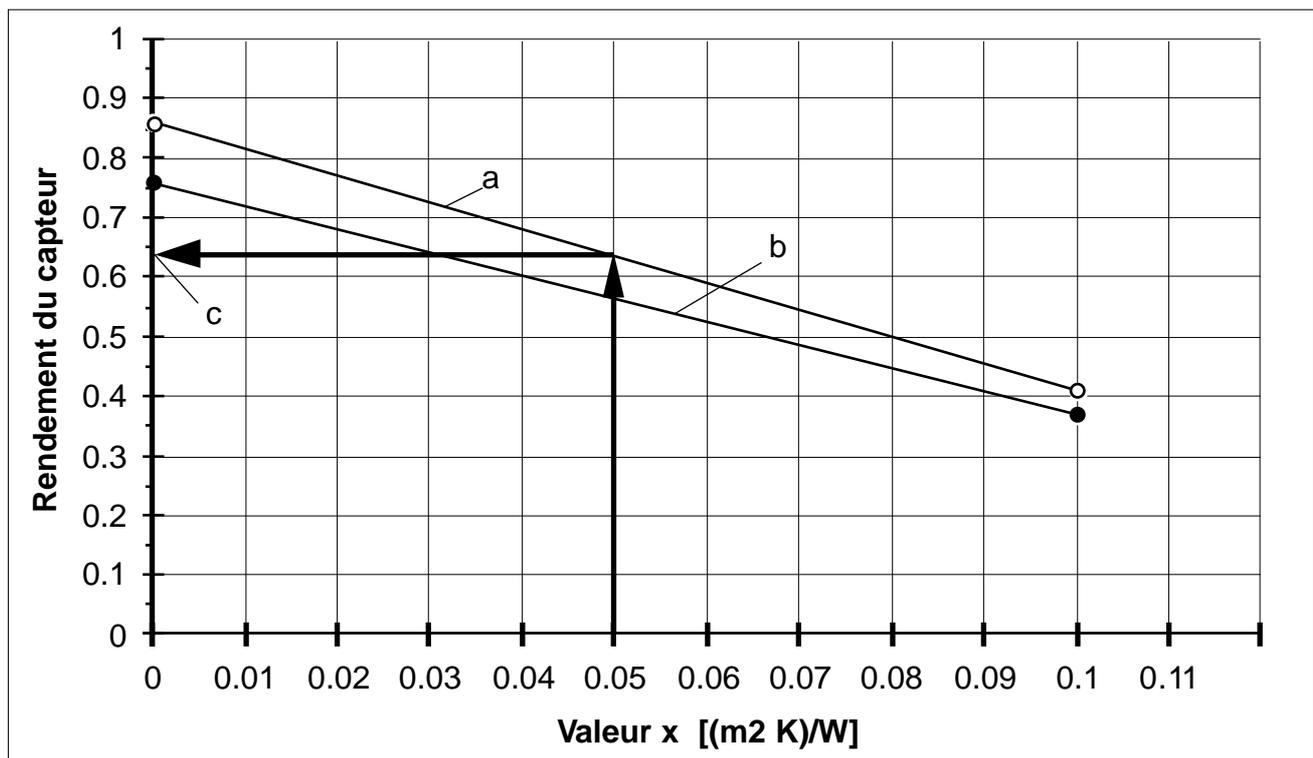


Figure b22 Exemple de courbe de rendement d'un capteur solaire

- a. Courbe de rendement pour la surface nette d'absorption
- b. Courbe de rendement pour la surface brute du capteur
- c. Rendement du capteur $\eta_{0.05}$

2.10 Qualités et choix d'un capteur

• Exigences

Un capteur solaire doit résister durant de longues années aux influences des conditions atmosphériques et à des contraintes internes :

- pluie, neige, grêle rayonnement solaire ;
- température minimale de -20 à -30°C, selon les régions, en hiver ;
- température maximale de 200°C en été si le circulateur est arrêté ;
- brusque variation de température due à un orage soudain ou à une remise en route du circulateur après une panne de courant ;
- pression de service maximum dans les capteurs (calcul voir pages D12, E12 ou F12.)

• Choix

On sous-estime souvent l'importance de la qualité de la construction d'un capteur.

Le prix effectif de l'énergie fournie par une installation dépend fortement de sa durée de vie. C'est pourquoi, lors du choix d'un capteur, il ne s'agit pas seulement de tenir compte de la performance par unité de surface pour un prix donné, mais également des matériaux utilisés, de leur qualité et de leur durabilité.

La durée de vie du capteur doit être supérieure à la durée nécessaire pour l'amortir financièrement.

Dans le cadre du projet de recherches « Durée de fonctionnement et sécurité à l'exploitation des installations solaires » le comportement à long terme des capteurs plans a été étudié dès 1984 par le Technicum intercantonal de Rapperswil et l'Institut Paul Scherrer. Les capteurs ont été exposés à des conditions extrêmes, afin de simuler une exploitation de longue durée.

Les résultats de ces tests peuvent être obtenus auprès de l'Office Fédéral de l'Energie (OFEN), sous le numéro ISBN 3-906110-03-6.

Aujourd'hui de nouveaux tests de qualité sont en cours au technicum de Rapperswil. Ces tests ne sont pas encore publiés. (Renseignement *INFOENERGIE*, adresse paragraphe 2.9).

Tm °C	JANV.	FEV.	MARS	AVRIL	MAI	JUIN	JUILL.	AOUT.	SEPT.	OCT.	NOV.	DEC.	Total
10	35.2	60.2	85.4	119.1	132.8	146.0	163.1	147.2	121.3	91.5	45.8	35.9	1183
20	27.3	51.0	73.7	105.9	116.1	128.4	144.6	130.5	107.2	79.1	36.7	27.7	1028
30	22.0	43.1	63.6	94.5	102.5	113.1	128.4	116.5	95.2	67.9	29.2	21.8	898
40	17.9	36.5	54.8	84.2	90.6	100.0	114.3	104.3	84.5	57.8	23.2	17.5	786
50	14.7	30.9	56.9	75.0	79.5	87.7	101.5	93.3	74.8	48.9	18.5	14.2	686
60	11.9	26.3	39.5	66.5	69.5	76.6	89.8	83.3	66.3	41.5	14.6	11.5	597
70	9.5	22.4	32.8	58.6	60.4	66.1	79.3	73.9	58.5	34.9	11.5	9.3	517
80	7.5	18.9	26.8	51.0	51.8	55.9	69.1	64.8	51.3	29.0	9.0	7.4	442
90	5.6	16.0	21.7	43.9	44.2	46.4	59.5	56.2	44.7	23.8	6.7	5.9	374
100	4.0	13.3	17.3	37.2	37.1	37.6	50.4	48.6	38.4	19.4	4.9	4.4	313

Figure b23

Tableau donnant mois par mois l'énergie solaire à disposition à différentes températures de service pour le lieu considéré et le capteur donné, en kWh/m²

Exemple :

- lieu Fribourg
- capteurs simple vitrage et revêtement sélectif de l'absorbeur $\eta_{0.05} = 0.649$
- inclinaison des capteurs 45°
- orientation des capteurs sud

2.11 Calcul des apports solaires utilisables

Le programme de simulation *Polysun* permet le calcul de l'énergie solaire à disposition pour un cas et un lieu déterminé (fig. b23).

Ce programme permet également le dimensionnement d'une installation solaire pour la production d'eau chaude sanitaire, le calcul de ses apports et la quantification de l'énergie d'appoint nécessaire (fig. b24).

Les données de dimensionnement indiquées aux chapitres D et E du présent manuel sont basées sur de nombreuses simulations effectuées avec ce programme.

Le calcul d'une installation par le programme pour ordinateur *Polysun* peut être effectué par la plupart des fournisseurs ou par les bureaux d'ingénieurs spécialisés à moindres frais. Pour ce, il est nécessaire de disposer des données suivantes:

a) Le lieu de l'installation:

Le programme de calcul utilise les données météorologiques mesurées durant de longues années par des stations de référence, ces données ont été extrapolées à l'aide de méthodes statistiques à l'ensemble des communes de Suisse.

b) Le positionnement des capteurs:

- la place à disposition;
- l'inclinaison;
- l'orientation (azimut).

Si l'on peut choisir entre diverses possibilités, par exemple dans le cas d'un montage sur un toit plat, l'apport en énergie utilisable sera calculé pour divers positionnements, afin de déterminer la solution optimale.

c) Le type de capteur:

Pour effectuer le calcul par ordinateur, il suffit d'indiquer le type de capteur prévu et son N° de test SPF-ITR. Tous les paramètres des différents capteurs testés sont déjà introduits dans le programme *Polysun*.

d) La consommation d'eau chaude mesurée ou prévisible:

- consommation journalière d'eau chaude ou nombre de personnes consommatrices;
- comportement des usagers (pointes de soutirage d'eau chaude);
- température minimale souhaitée de l'eau sanitaire.

e) Matériel:

- dimension des portes pour l'entrée du ou des chauffe-eau solaires et place disponible;
- type d'appoint à l'énergie solaire, puissance et heures de disponibilité;
- présence d'un chauffe-eau d'appoint ou chauffe-eau combiné solaire - appoint;
- hauteur de l'installation;
- présence ou non d'une circulation sanitaire.

f) Le taux de couverture solaire désiré: voir explication page B3.7 figure b36

Sur la base de ces données le programme donnera les indications suivantes (en résumé):

- tableau donnant mois par mois l'énergie solaire à disposition à différentes températures de service pour le lieu considéré (voir exemple fig. b23, page B2.10);
- apports solaires nets de l'installation solaire envisagée;
- taux de couverture solaire de l'installation;
- quantité d'énergie d'appoint nécessaire.

Des informations supplémentaires concernant les programmes de calcul peuvent être obtenues auprès d'*INFOENERGIE* (adresse donnée au paragraphe 2.9).

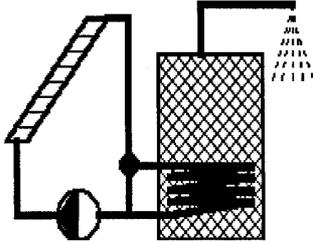
Figure b24

Exemple de résultat d'une simulation sur ordinateur pour une installation solaire de production d'eau chaude sanitaire à l'aide du programme Polysun.

Note: En principe on veillera à dimensionner l'appoint de tel façon que le 100% des besoins en eau chaude sanitaire soit couvert.

POLYSUN	Projet : (PACER) Installation à Fribourg	23 APR 94 10:27 -2-
Variante : 48 m ² capteurs Azur - 3000 litres/jour à 55 °C		© BEW, OFEN 1994, Ver. : 1.2

Variante

 48 m² capteurs - 3000 litres/jour à 55 °C

 Energie utilisable annuelle à 10°C : **57177 kWh**
 Chauffe-eau solaire

Eau chaude sanitaire

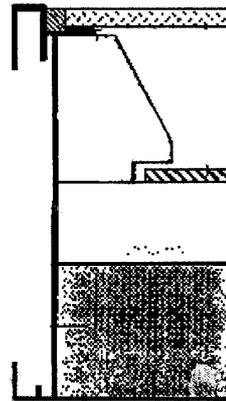
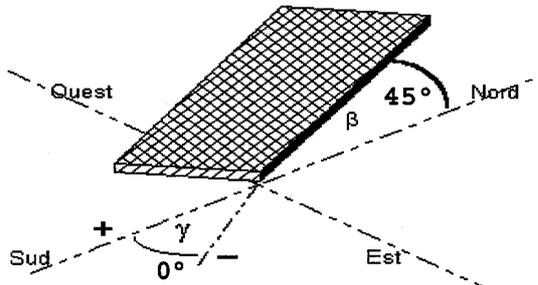
 Consommation journalière : 3000 litres
 Température d'ECS : 55 °C
 Température minimale : 50 °C

Dimensions

 Volume chauffe-eau : 3000 litres
 Diamètre : 1.241 m
 Hauteur : 2.481 m
 Epaisseur isolation : 160 mm
 Surface échangeur : 15.96 m²
 Débit : 2400 l/h
 Long. conduites extér.: 20.00 intér. : 80.00 m
 Tube : **Tube fer noir 1½"**
 Teneur en glycol : 35 %
 App. électrique: 0 W Volume : 0 litres
 Temp. d'encl. : 60 Temp. décl. : 65 °C
 App. auxiliaire : 75000 W Volume : 1000 litres
 Temp. d'encl. : 60 Temp. décl. : 65 °C

Capteur

No du catalogue : 4 Mar.94


 Surface: 1.990 Surface totale : 47.760 m²
 Hauteur: 2.348 Largeur : 0.848 m

 Irradiation annuelle plan capteurs : **67952 kWh**
Bilan : Annuel

Demande et couverture

 Demande : 57893 kWh
 Production nette : 57892 kWh

Apports

 Energie utilisable à 10°C : 57177 kWh
 Capteurs : 35602 kWh
 Circuit capteurs : 31881 kWh
 Chaleur pompe : 355.5 kWh
 Appoint électrique : 0 kWh
 Autres appoints : 27077 kWh

Pertes

 Conduites extérieures, jour : 420.6 kWh
 Conduites extérieures, nuit : 1337.3 kWh
 Chauffe-eau : 1068.0 kWh
 Circulation eau chaude : 0.0 kWh

Couverture temporelle

Température ECS : 55 °C : 100 %

Taux de couverture solaire 53.5 %

Consommations

 711 kWh
 0 kWh
 31856 kWh

 Conduites intérieures, jour: 1586.7 kWh
 Conduites intérieures, nuit: 732.3 kWh

 Température d'ECS >= température minimale
 Temp. mini. 50 °C 100 %

3 Fonctionnement d'une installation solaire

3.1 Installation standard (figures b25 et b26)

Les principales notions relatives à une installation solaire, ainsi que son fonctionnement, sont expliqués par l'exemple d'une installation standard simple.

La transformation du rayonnement solaire en chaleur se fait dans le capteur.

Cette chaleur est souvent produite à un moment où l'on en a pas besoin. C'est la raison pour laquelle il faut stocker l'énergie entre le capteur et le consommateur : c'est le rôle de l'accumulateur. Celui-ci est constitué d'une cuve bien isolée contenant de l'eau sanitaire ou de l'eau du circuit chauffage. Certains accumulateurs sont combinés chauffage et sanitaire.

La chaleur est transportée du capteur vers l'accumulateur à travers le circuit hydraulique : un circulateur véhicule le liquide caloporteur à travers deux conduites reliant les capteurs à l'accumulateur.

Ce circuit des capteurs est un circuit fermé ; il est donc nécessaire de prévoir un vase d'expansion, une soupape de sécurité, ainsi qu'une combinaison d'alimentation avec un robinet de remplissage, un robinet de purge et une vanne posée entre ces deux robinets.

Le caloporteur est un liquide antigel, mélange d'eau et de glycol. Comme le caloporteur ne sert pas de milieu stockeur, il faut prévoir un échangeur de chaleur. Celui-ci peut être intégré ou externe à l'accumulateur.

De nuit, le capteur est plus froid que le bas de l'accumulateur ; pour éviter de décharger ce dernier par un effet thermosiphon dans les conduites solaires, il est nécessaire de monter une soupape de retenue dans le circuit des capteurs.

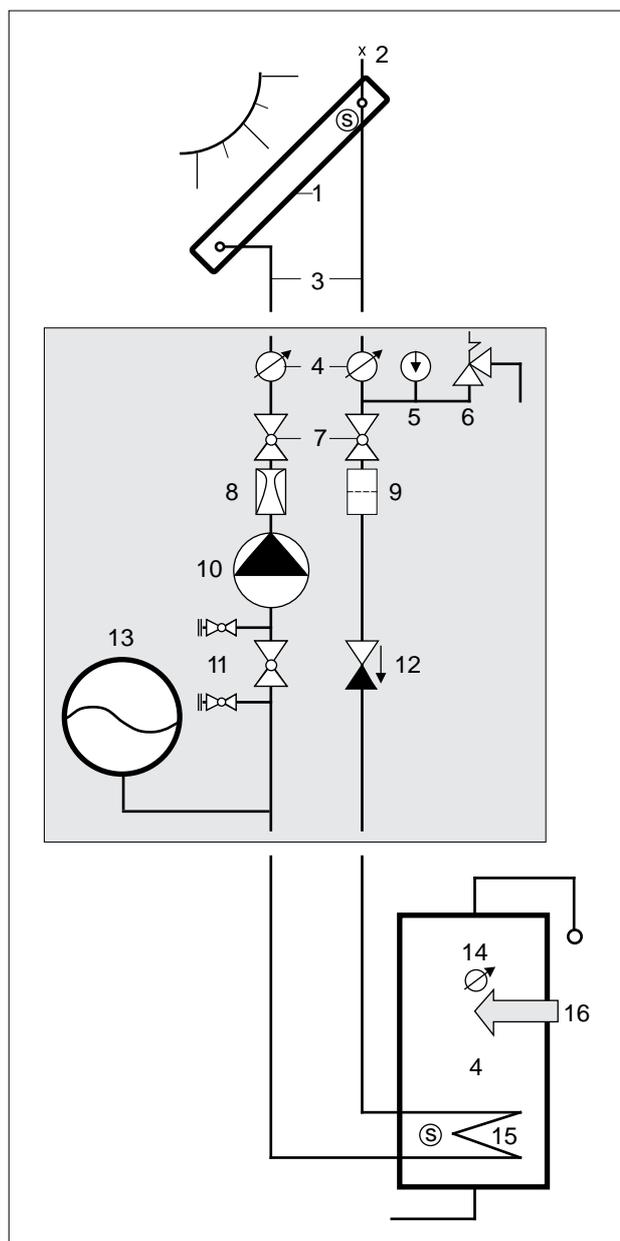


Figure b25

Appareils:

- | | |
|---------------------------|---------------------------------------|
| 1. Capteurs solaires | 10. Circulateur |
| 2. Purgeur | 11. Vannes de remplissage et de purge |
| 3. Conduites hydrauliques | 12. Soupape de retenue |
| 4. Thermomètres | 13. Vase d'expansion |
| 5. Manomètres | 14. Accumulateur |
| 6. Soupape de sécurité | 15. Echangeur de chaleur solaire |
| 7. Vannes d'arrêt | 16. Appoint |
| 8. Débitmètre | |
| 9. Filtre éventuel | |

Le circulateur ne doit être enclenché que lorsque le capteur est plus chaud que la partie inférieure de l'accumulateur. Ceci afin que la chaleur aille toujours du capteur vers l'accumulateur, et jamais de l'accumulateur vers le capteur. Pour assurer cette fonction on installe une régulation par températures différentielles et deux sondes de température (fig. b25).

La sonde de capteur mesure la température dans le haut de celui-ci (veiller à bien mesurer la température effective de l'absorbeur !). La sonde de l'accumulateur mesure la température de ce dernier à la hauteur de l'échangeur de chaleur. Le circulateur est automatiquement enclenché lorsque les capteurs sont à une température supérieure à l'accumulateur. Il est déclenché lorsqu'il n'y a plus de chaleur à transporter des capteurs vers l'accumulateur, c'est-à-dire lorsque l'insolation est insuffisante.

Bien que les statistiques permettent de déterminer la probabilité de bénéficier d'une certaine insolation, le soleil brille quand il en a envie ! C'est la raison pour laquelle les installations destinées tant à la préparation d'eau chaude sanitaire qu'au chauffage des locaux nécessitent un appoint permettant de satisfaire les besoins même en l'absence de soleil.

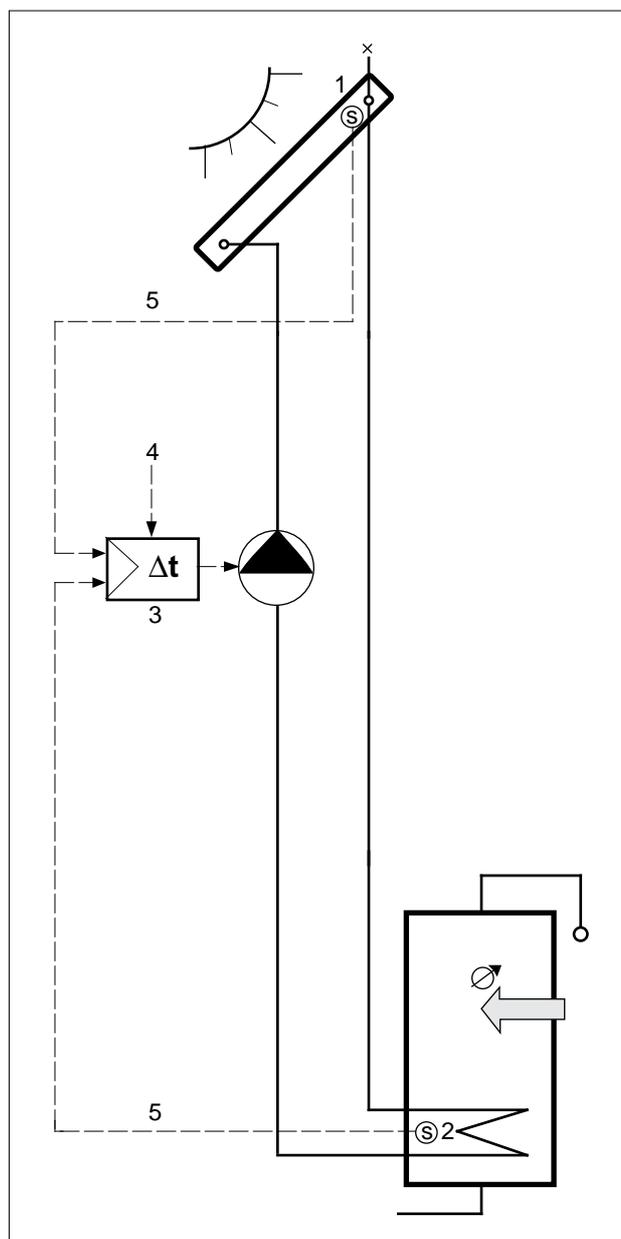


Figure b26

Régulation:

1. Sonde capteurs
2. Sonde accumulateur
3. Régulateur par températures différentielles
4. Alimentation électrique du régulateur
5. Raccordement électrique des sondes (basse tension)

3.2 Installation fonctionnant en thermosiphon (figure b27)

L'effet thermosiphon peut être utilisé lorsque l'accumulateur est situé plus haut que le capteur.

Une installation réalisée en thermosiphon offre l'avantage de pouvoir se passer du circulateur et de la régulation : par temps ensoleillé, le liquide caloporteur se met à circuler sous l'effet de sa différence de densité entre la partie chaude du circuit (le capteur) et la partie plus froide (conduites de liaison au chauffe-eau).

Pour qu'une telle installation fonctionne correctement, il est indispensable d'avoir peu de pertes de charge dans le circuit, en particulier au niveau du capteur et à celui de l'échangeur. Il est d'autre part recommandé de choisir des conduites d'un diamètre supérieur de 1/4" à 1/2" à celui que l'on prendrait dans le cas d'une installation standard. Les conduites du circuit solaire devront être installées en pente ascendante vers le chauffe-eau.

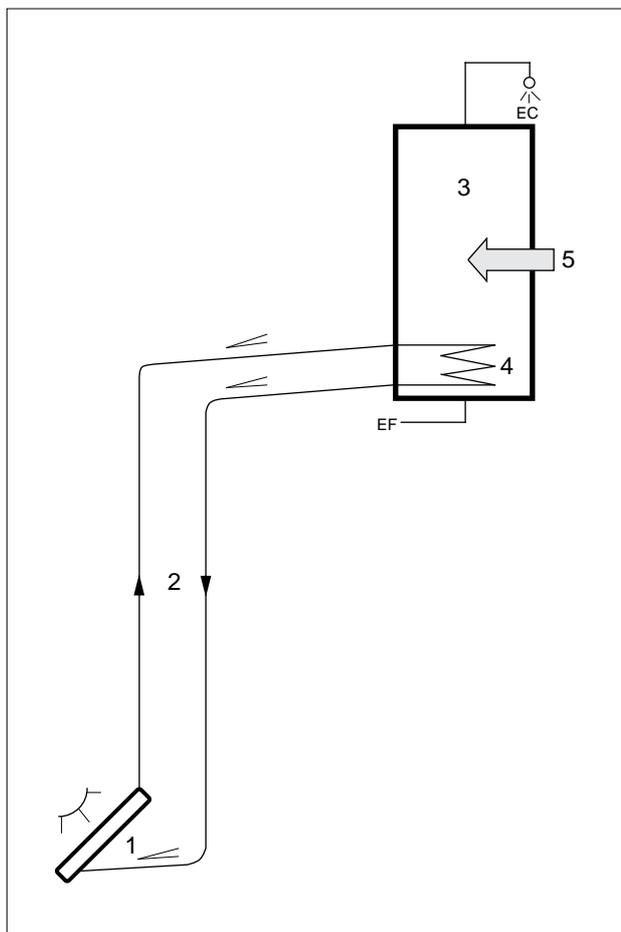


Figure b27

1. Capteurs solaires
2. Conduites hydrauliques en pente ascendante vers l'accumulateur
3. Accumulateur (par exemple chauffe-eau sanitaire)
4. Echangeur de chaleur solaire
5. Appoint

3.3 Production d'eau chaude sanitaire (figure b28)

L'accumulateur, qui dans ce cas est un chauffe-eau, contient l'eau chaude sanitaire.

Le circuit solaire est connecté au bas du chauffe-eau. Par l'effet de la stratification c'est toujours là que se trouve l'eau qui a la température la plus basse. De ce fait les capteurs et le circuit sont toujours à la température la plus basse possible, ce qui augmente le rendement des capteurs et de l'installation.

L'appoint, que ce soit un corps de chauffe électrique ou un échangeur de chaleur couplé à une chaudière, sera toujours placé plus haut que l'échangeur du circuit solaire.

Le volume chauffé par l'appoint doit être calculé pour couvrir les besoins lorsque l'énergie solaire stockée a été utilisée :

- Appoint par une chaudière:
Le volume chauffé par l'appoint doit permettre de couvrir les besoins de pointe.
Dans le calcul, veiller d'autre part au respect des directives prescrivant le nombre maximum d'enclenchements journaliers de la chaudière pour la préparation d'eau chaude sanitaire.
- Appoint électrique nocturne:
Le volume chauffé par l'appoint doit couvrir les besoins journaliers.

Le bas de l'accumulateur constitue toujours un réservoir tampon pour l'énergie solaire, puisqu'il ne peut être réchauffé que par le circuit des capteurs.

Si l'énergie solaire ne suffit pas pour chauffer l'eau au niveau de température souhaité, on parle de préchauffage solaire. L'appoint n'aura plus qu'à élever l'eau préchauffée au niveau de température voulu.

Pour que la stratification des températures soit bien marquée, la hauteur de l'accumulateur devra être suffisante. Le rapport entre la hauteur et le diamètre de l'accumulateur devrait être au minimum de 2:1.

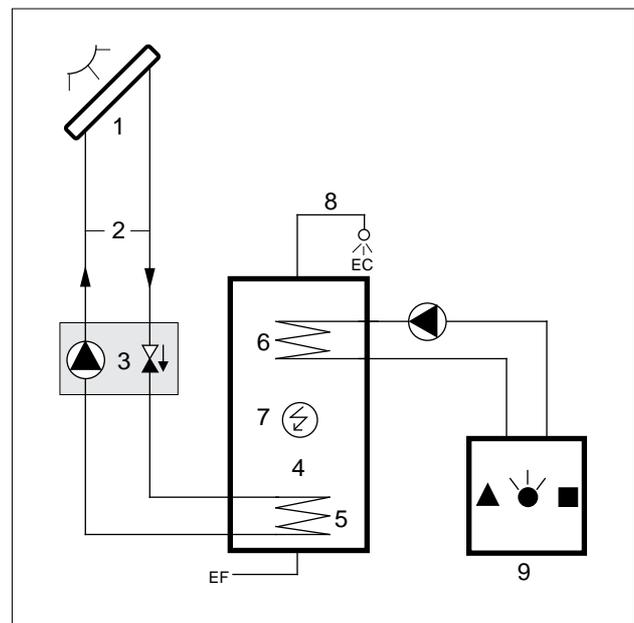


Figure b28

1. Capteurs solaires
2. Conduites hydrauliques circuit solaire
3. Groupe hydraulique solaire
4. Chauffe-eau sanitaire
5. Echangeur solaire
6. Appoint par chaudière
7. Appoint électrique
8. Circuit sanitaire
9. Chaudière d'appoint

3.4 Production d'eau chaude sanitaire et chauffage des locaux

Le rayonnement solaire peut également être important lors de certaines périodes en automne et au printemps. Durant ces périodes il est possible de l'utiliser pour couvrir une fraction importante, voire la totalité, des besoins en chauffage. Cela raccourcit le temps de fonctionnement de la chaudière. La surface de captage et le volume d'accumulation plus grands font que les besoins en eau chaude seront couverts à 100% durant l'été; on pourra également avoir des excédents estivaux importants.

Plusieurs systèmes sont possibles dans le cas d'une installation destinée tant à la préparation d'eau chaude qu'au chauffage :

3.4.1 Accumulateurs combinés pour chauffage et eau chaude

Système optimisé (figure b29)

L'accumulateur est rempli d'eau de chauffage. Le chauffe-eau, non isolé, est immergé dans cet accumulateur. L'eau sanitaire est chauffée au bain-marie par l'eau de chauffage.

Il existe sur le marché une variante à cet accumulateur, avec des échangeurs de chaleur immergés

dans l'accumulateur, à la place du chauffe-eau. Ce système permet une préparation instantanée et hygiénique de l'eau chaude sanitaire.

En cas de besoin, l'accumulateur cède sa chaleur au chauffage. Des distributions de chaleur par sol ou par radiateurs conviennent à condition qu'elles soient prévues pour un fonctionnement à basse température (moins de 60°C au départ chauffage lors des températures extérieures les plus froides).

Le retour du chauffage est raccordé au bas de l'accumulateur et l'aller au milieu. Ainsi il est possible d'obtenir une bonne stratification dans la cuve. Le retour du chauffage ne passe dans l'accumulateur que lorsqu'il est possible et nécessaire d'y soutirer de l'énergie. Ainsi le bas de la cuve n'est jamais réchauffé par de l'énergie d'appoint.

Lorsque l'énergie solaire stockée dans la cuve est insuffisante pour la production d'eau chaude sanitaire, la partie haute de l'accumulateur est chauffée à l'aide d'une chaudière d'appoint; la pose d'un corps de chauffe électrique est également possible.

Lorsque l'énergie solaire stockée dans la cuve est insuffisante pour le chauffage des locaux, la chaudière d'appoint est mise en température et une vanne mélangeuse motorisée, commandée par la régulation automatique du chauffage, règle ses apports.

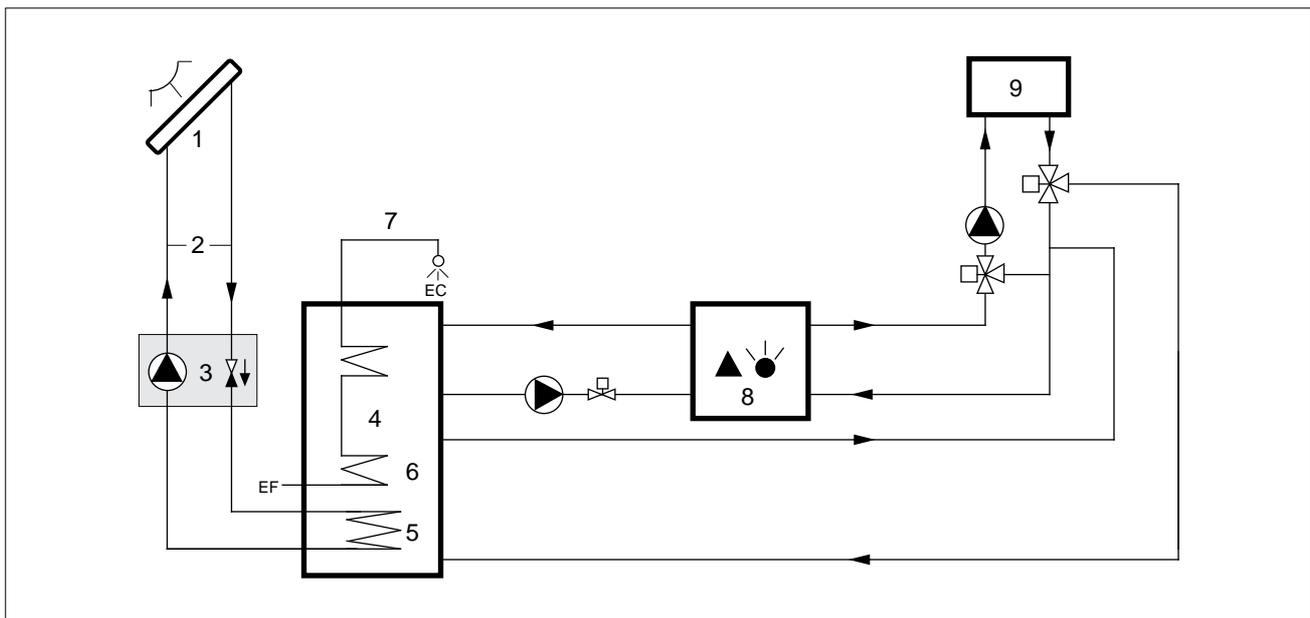


Figure b29 (Schéma et fonctionnement détaillé, voir page F 3.1, chapitre F)

- | | |
|--|--|
| 1. Capteurs solaires | 6. Echangeurs immergés pour production d'eau chaude sanitaire ou chauffe-eau sanitaire |
| 2. Conduites circuit solaire | 7. Circuit sanitaire |
| 3. Groupe hydraulique solaire | 8. Chaudière d'appoint |
| 4. Accumulateur combiné chauffage et sanitaire | 9. Chauffage habitation |
| 5. Echangeur solaire | |

Système à stockage en vrac (figure b30)

Ce système utilise également un accumulateur combiné chauffage et sanitaire, tel qu'il est décrit plus haut.

Dans cette variante, le retour du chauffage se fait toujours dans le bas de l'accumulateur. L'appoint pour le sanitaire et pour le chauffage est assuré par la chaudière qui chauffe la moitié supérieure de la cuve.

Dans un tel système il est très important de calculer le chauffage pour qu'il puisse fonctionner avec une température de retour la plus basse possible afin de ne pas trop réchauffer l'accumulateur par de la chaleur produite par l'appoint.

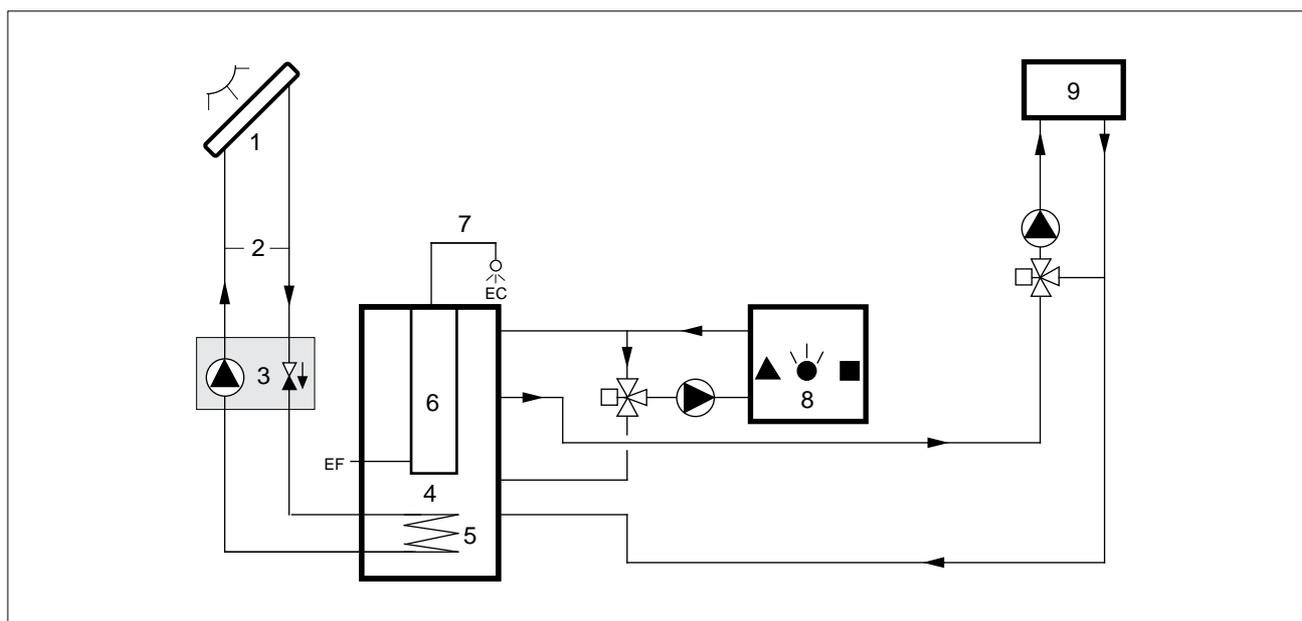


Figure b30 (Schéma et fonctionnement détaillé, voir page F 3.2, chapitre F)

- | | |
|--|---|
| 1. Capteurs solaires | 6. Chauffe-eau sanitaire ou échangeurs de production d'eau chaude sanitaire |
| 2. Conduites circuit solaire | 7. Circuit sanitaire |
| 3. Groupe hydraulique solaire | 8. Chaudière d'appoint |
| 4. Accumulateur combiné chauffage et sanitaire | 9. Chauffage habitation |
| 5. Echangeur solaire | |

3.4.2 Système à injection directe (figure b31)

C'est une solution relativement simple et bon marché qui permet de diriger l'énergie solaire captée directement pour le chauffage des locaux, sans stockage intermédiaire. Seule l'énergie solaire en surplus est stockée dans un accumulateur combiné, tel qu'il est décrit au point 3.4. Les capteurs peuvent ainsi fonctionner à un bas niveau de température, ce qui augmente l'efficacité de l'installation.

En mi-saison et en hiver, la régulation donne la priorité au rendement, c'est à dire que le consommateur le plus froid (chauffage direct ou accumulateur) est favorisé.

Hors des périodes de chauffage, la régulation donne l'ordre de chauffer prioritairement l'accumulateur combiné, pour effectuer la préparation d'eau chaude sanitaire.

La chaudière assure l'appoint au sanitaire dans le haut de l'accumulateur combiné et l'appoint au chauffage sur l'aller du circuit sol ou radiateurs.

Une variante simplifiée de ce système est couramment réalisée en France sous le nom de « Plancher solaire direct ». Ces installations ne comportent pas d'accumulateur pour le chauffage et c'est le chauffage par sol qui fait office de stock de chaleur. Dans ce cas, l'épaisseur de la dalle ou de la chape est en principe plus grande que la norme. On veillera au risque de surchauffe estivale plus important, dû à l'absence de cuve d'accumulation pour le chauffage.

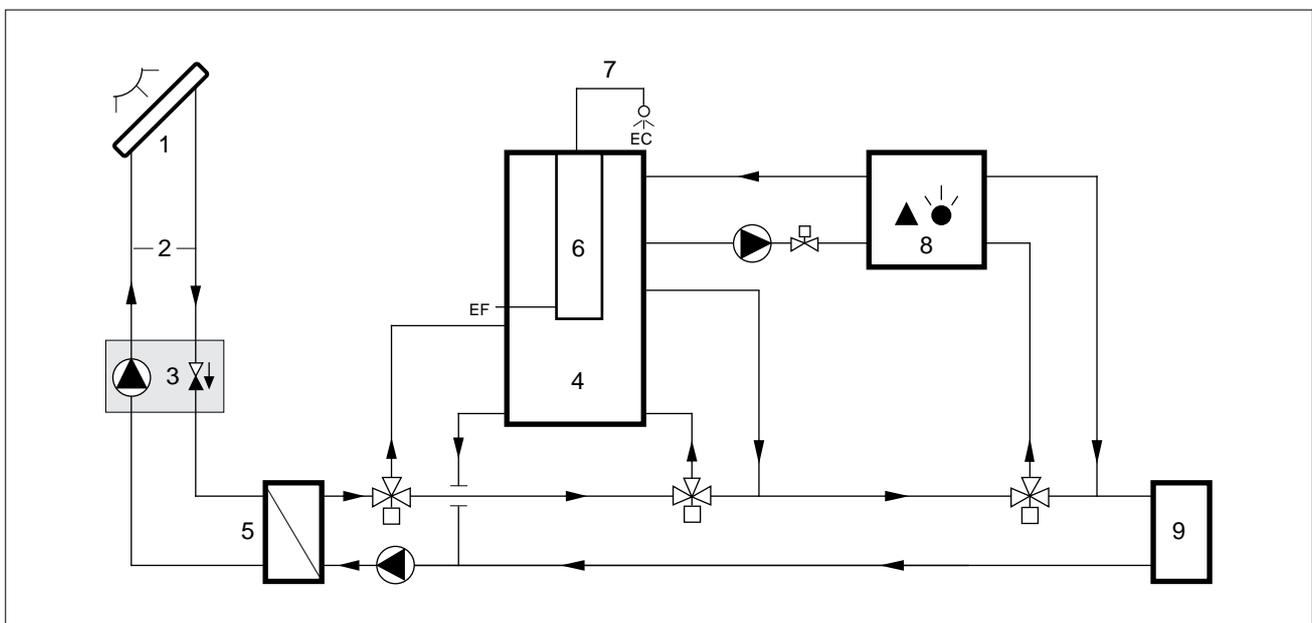


Figure b31

1. Capteurs solaires
2. Conduites circuit solaire
3. Groupe hydraulique solaire
4. Accumulateur combiné
5. Echangeur solaire
6. Chauffe-eau sanitaire ou échangeurs de production d'eau chaude sanitaire
7. Circuit sanitaire
8. Chaudière d'appoint
9. Chauffage d'habitation

3.4.3 Accumulateurs séparés pour chauffage et eau chaude (figure b32)

Dans un tel système il y a deux accumulateurs séparés, l'un pour l'eau chaude, l'autre pour le chauffage (fig. b32). Une vanne motorisée dirige la chaleur solaire vers l'un ou vers l'autre. L'utilisateur peut choisir de satisfaire prioritairement l'un ou l'autre consommateur : le deuxième ne recevra de la chaleur que lorsque le premier d'entre eux sera satisfait. Il pourra également choisir de satisfaire toujours le consommateur présentant la température la plus basse, et de maximiser ainsi le rendement de l'installation.

En raison des nombreuses variantes possibles, l'appoint au solaire n'est pas détaillé ici. Lors de la réalisation d'un tel système, on veillera à toujours appliquer le principe de la priorité à l'utilisation de l'énergie solaire, l'appoint ne venant qu'en second lieu.

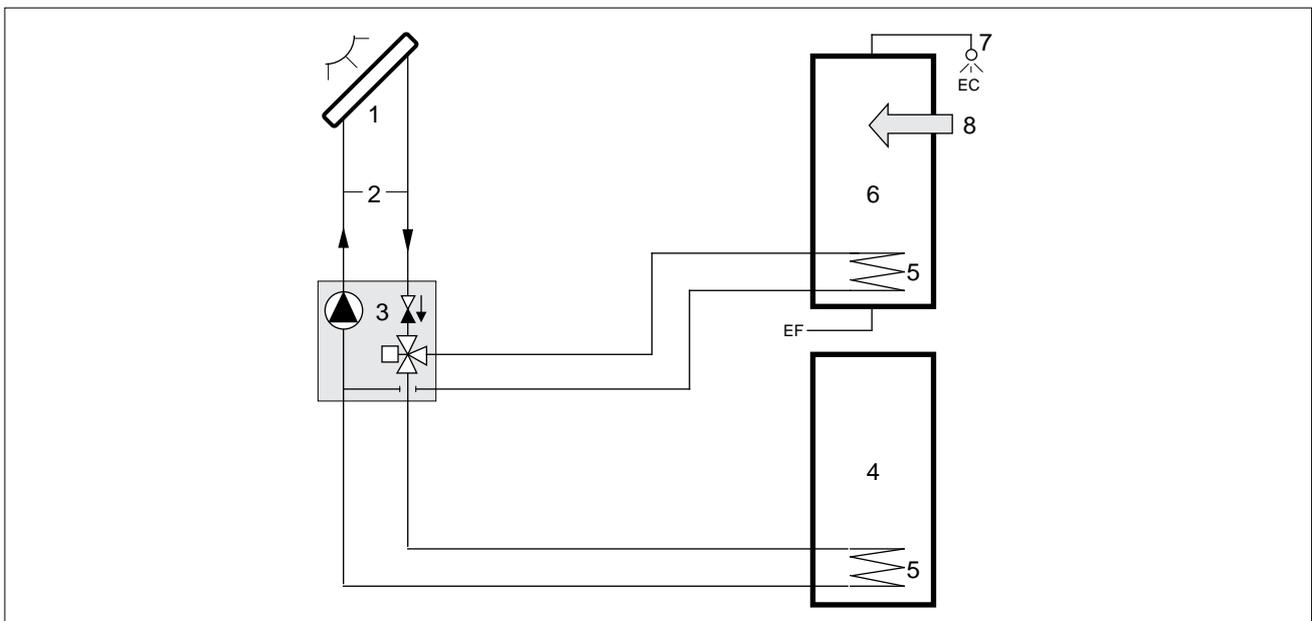


Figure b32

- 1. Capteurs solaires
- 2. Conduites circuit solaire
- 3. Groupe hydraulique solaire
- 4. Accumulateur
- 5. Echangeur solaire
- 6. Chauffe-eau sanitaire
- 7. Circuit sanitaire

3.5 Production d'eau chaude et chauffage de piscine (figure b33)

L'avantage d'une installation solaire de production d'eau chaude sanitaire couplée à un chauffage de piscine est que les forts apports solaires estivaux peuvent être entièrement utilisés. Ceci conduit à une bonne exploitation du champ de capteurs.

Généralement on choisira une surface de capteurs plus importante que dans le cas d'une installation de préparation d'eau chaude: 1/3 à 1/2 de la surface du bassin, selon que celui-ci est intérieur ou extérieur, couvert ou non la nuit.

La demande pour le chauffage solaire des piscines devient de plus en plus importante, en particulier depuis l'entrée en vigueur de l'Ordonnance visant une utilisation économe et rationnelle de l'énergie

Celui-ci prescrit à l'article 13, le chauffage des piscines par l'énergie solaire, la géothermie ou à l'aide de rejets de chaleur inutilisables d'une autre manière.

La figure b33 montre le schéma de principe d'une installation de préparation d'eau chaude et chauffage de piscine. Il s'agit d'un système à deux consommateurs avec un consommateur prioritaire.

Une régulation optimisée donne la priorité au rendement de l'installation lorsque l'ensoleillement est insuffisant pour atteindre la température de consigne de priorité au consommateur.

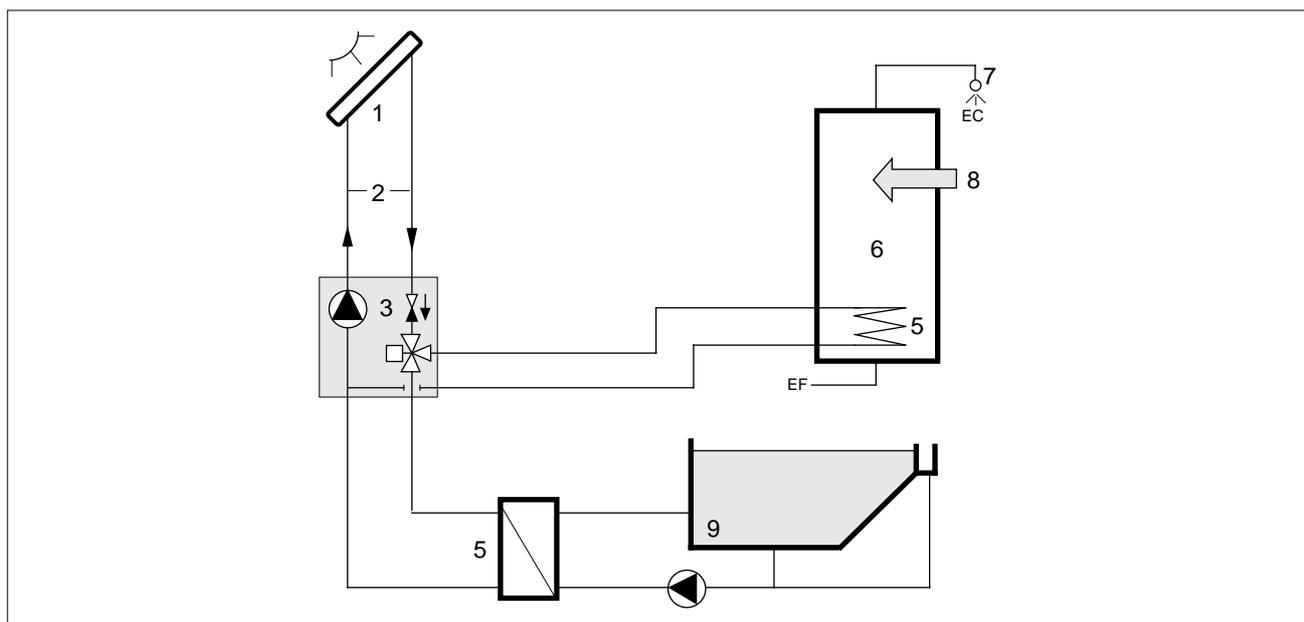


Figure b33

1. Capteurs solaires
2. Conduites circuit solaire
3. Groupe hydraulique solaire
5. Echangeurs solaires
6. Chauffe-eau sanitaire
7. Circuit sanitaire
8. Appoint
9. Piscine

3.6 Chauffage de piscine extérieure (figure b34)

La température nécessaire de l'eau des bassins est rarement supérieure à 30°C. Cette valeur est facilement atteinte par des capteurs solaires simples et économiques: les capteurs non vitrés.

Pour des températures de cet ordre, ces capteurs utilisés en période estivale ont un rendement supérieur à celui de capteurs vitrés. Le rendement, le montage et l'exploitation de l'installation sont améliorés par l'absence d'un échangeur de chaleur.

L'eau de la piscine circule, avec un débit important, directement dans un absorbeur en matière synthétique. Le bassin se réchauffe progressivement. Ensuite, même un faible ensoleillement suffira à le maintenir en température.

L'utilisation de capteurs non vitrés métalliques à revêtement sélectif est également applicable. Cette solution nécessite un circuit primaire avec un liquide caloporteur antigel et la pose d'un échangeur de chaleur.

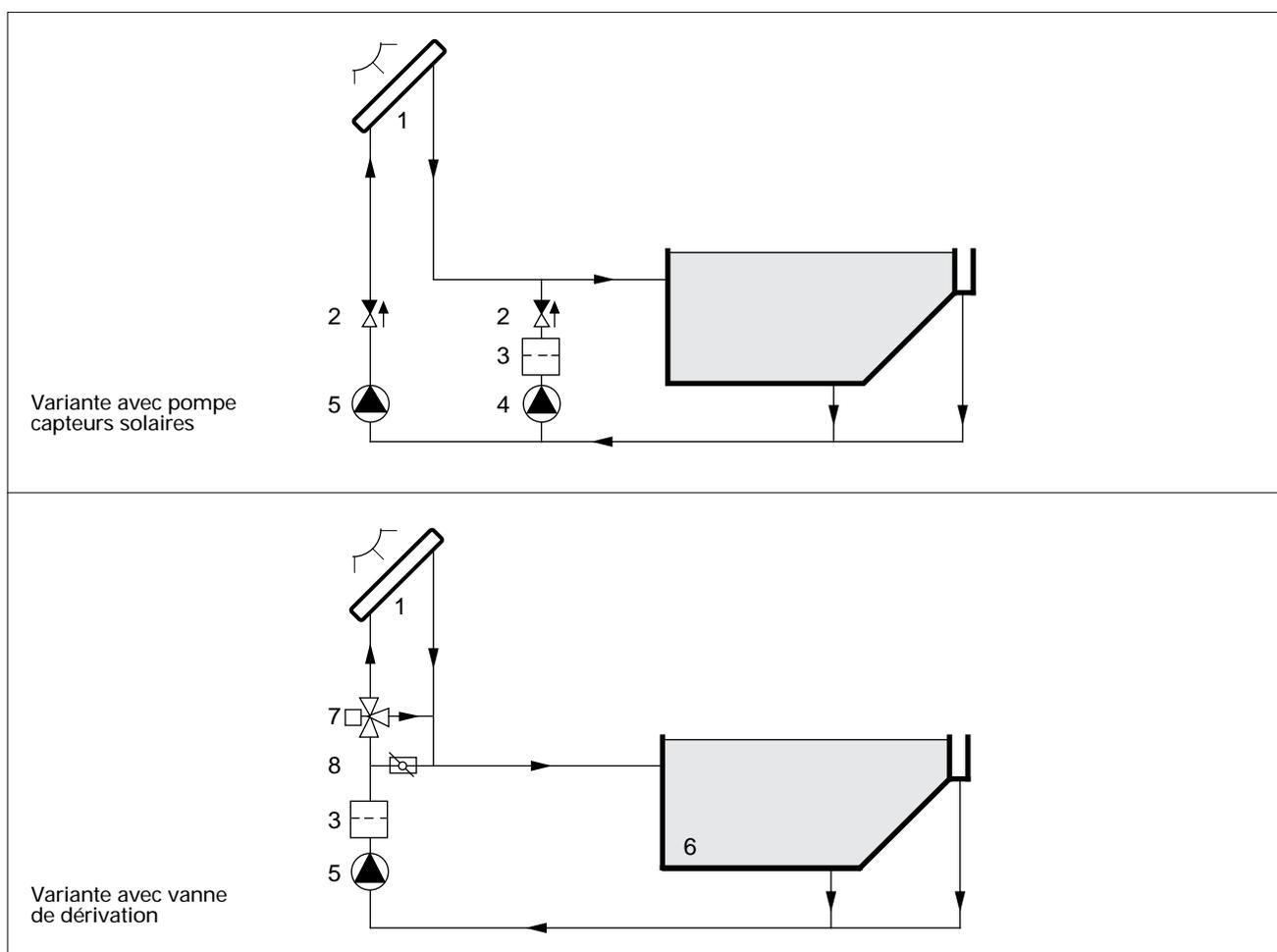


Figure b34

1. Capteurs solaires
2. Soupape de retenue
3. Filtre
4. Pompe piscine
5. Pompe capteurs solaires
6. Piscine
7. Vanne de dérivation
8. Bypass

3.7 Flux et apports solaires

Le diagramme de flux de la figure b35 donne les ordres de grandeurs des divers flux d'énergie annuels à considérer dans une installation simple destinée à la production d'eau chaude sanitaire, depuis le rayonnement solaire jusqu'au consommateur.

La figure b36 donne, de manière simplifiée, l'évolution des apports solaires et de la consommation au cours d'une année. La forte insolation estivale peut conduire à des excédents de chaleur inutilisables. Ces excédents dépendent de la surface relative de captage, c'est-à-dire de la surface de capteurs comparée aux besoins en eau chaude.

Il est évidemment important de dimensionner et de réaliser l'installation solaire de manière à ce qu'une part aussi élevée que possible de l'énergie captée soit utilisée par le consommateur.

Conclusion

Une installation solaire doit toujours être aussi simple que possible.

Des éléments inutiles ou apportant peu d'amélioration à l'efficacité du système doivent être évités. Ils augmentent le coût de l'installation et compliquent sa mise en service et son exploitation.

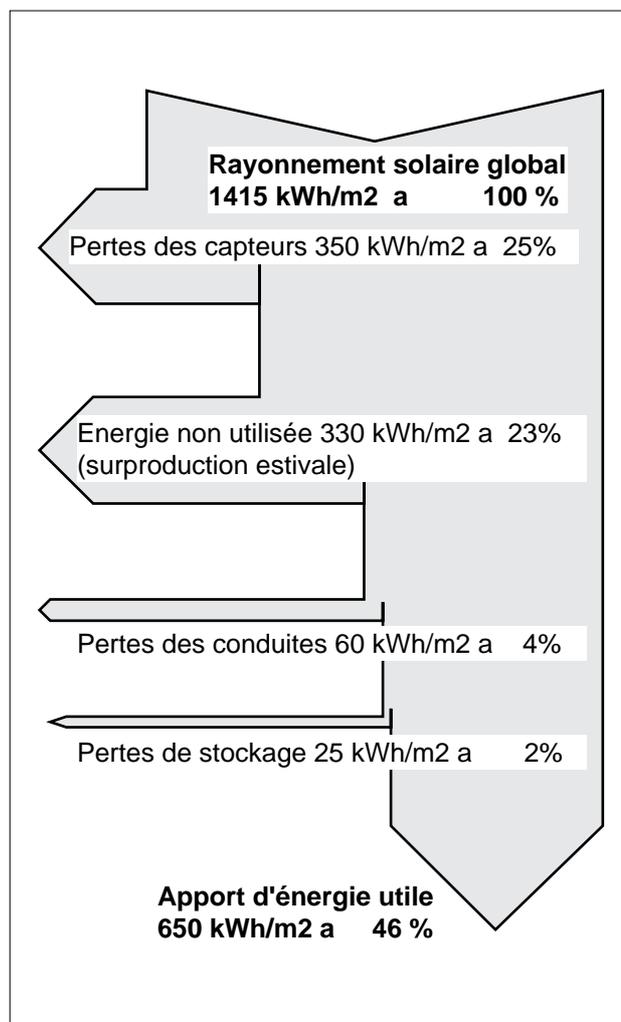


Figure b35

Exemple avec les données suivantes:

- Lieu Fribourg
- Inclinaison des capteurs 45°, orientation Sud
- Taux de couverture solaire environ 50%

Les pourcentages indiqués sont valables pour d'autres lieux du plateau Suisse

Figure b36

Besoins en énergie – Apports solaires

A = Besoins en énergie pour la production d'eau chaude sanitaire

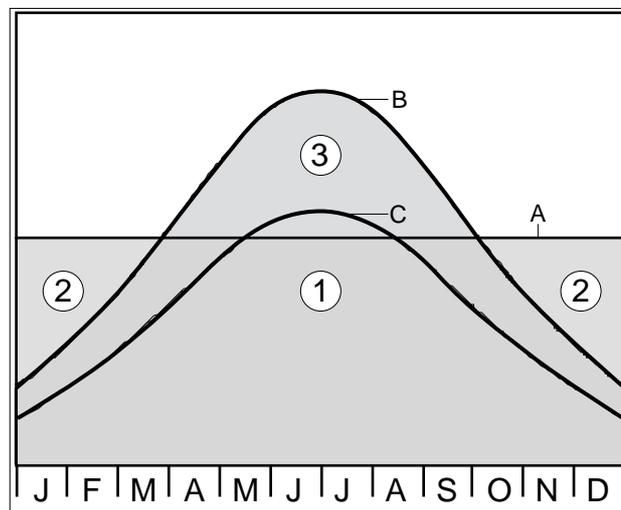
B = Apports d'une installation solaire fortement dimensionnée (haut taux de couverture solaire)

C = Apport d'une installation solaire faiblement dimensionnée (Haute rentabilité financière)

1 = Apports solaires utilisés

2 = Energie d'appoint nécessaire

3 = Surproduction solaire estivale



4 Marche à suivre pour l'étude et la réalisation d'une installation

4.1 Avant-projet

Pour donner suite à la demande d'un client ou pour faire une proposition spontanée :

- 1) Contrôler si d'autres mesures d'économie d'énergie sont à envisager en priorité ou en parallèle à l'installation solaire. Pour des bâtiments d'une certaine importance, il peut être utile de faire un bilan énergétique.
- 2) Questionner le client pour savoir quel type d'installation il désire : production d'eau chaude seule ou avec participation au chauffage, meilleure rentabilité financière possible ou haut taux de couverture solaire.
- 3) Sur cette base et en fonction du nombre de personnes consommatrices ou de la consommation d'eau chaude, dimensionner rapidement une installation et indiquer un prix préliminaire approximatif au client. Les fournisseurs de capteurs solaires disposent d'offres standard à cet usage.

4.2 Relever les données de l'installation

Si le maître de l'ouvrage accepte le devis estimatif, on procédera au relevé de toutes les données encore nécessaires en plus des points 1 à 3 traités sous «4.1 Avant-projet» :

Eau chaude sanitaire

- Eventuelles pointes de consommation
- Présence ou non d'une circulation

Capteurs

- Emplacement, type de montage
- Place disponible
- Orientation et inclinaison

Conduites

- Passage
- Longueur
- Différence de hauteur chauffe-eau – capteurs

Chauffe-eau solaire

- Dimension de la, ou des portes d'accès
- Place disponible

Appoint

- Type et capacité de l'éventuel chauffe-eau existant
- Type et capacité de l'éventuel chauffe-eau d'appoint
- Type et coût de l'énergie d'appoint
- Nombre d'enclenchements journaliers disponibles ou autorisés
- Temps de charge et puissance à disposition

4.3 Dimensionner l'installation

Utiliser la méthode rapide ou la méthode détaillée décrite dans chacun des chapitres D, E et F.

4.4 Etablir l'offre précise

Une proposition de texte d'offre se trouve à la fin de chacun des chapitres D, E et F.

4.5 Avant le montage

Si l'installation est commandée:

- Obtenir l'autorisation de construire

En règle générale, chaque installation solaire nécessite un permis de construire.

Le service compétent de l'administration communale renseigne sur les démarches à effectuer pour demander ce permis.

Lors d'un montage sur un toit existant, la procédure peut être simplifiée et il suffit souvent de donner les plans de la toiture sur lesquels on aura dessiné les capteurs et d'obtenir l'accord écrit des voisins.

- Se renseigner sur les possibilités d'obtenir une subvention

L'octroi de subventions fédérales, cantonales ou communales peuvent faciliter la décision d'un propriétaire intéressé par l'énergie solaire.

Dans tous les cas il faut se renseigner auprès du délégué cantonal à l'énergie pour savoir si l'installation prévue peut bénéficier de subventions ou d'une déduction fiscale.

- Planifier les travaux avec d'autres corps de métier concernés
 - Electricien: Raccordements électriques et en particulier raccordement de la sonde des capteurs solaires.
 - Maçon: Eventuels travaux de percement ou de fouille pour le passage des conduites.
Préparation éventuelle d'un emplacement des capteurs sur le terrain.
 - Ferblantier: Supports de fixation en toiture ou ferblanterie périphérique des capteurs.
 - Divers: Réserver la grue de chantier ou commander un engin de levage des capteurs si nécessaire.
 - Pose d'un éventuel échafaudage.

- Commander le matériel

4.6 Montage – mise en service – entretien

A effectuer selon les indications du chapitre G et du fournisseur.

C Matériel

Schéma de base d'une installation solaire	C	46
Table des matières	C	47

Schéma de base d'une installation solaire

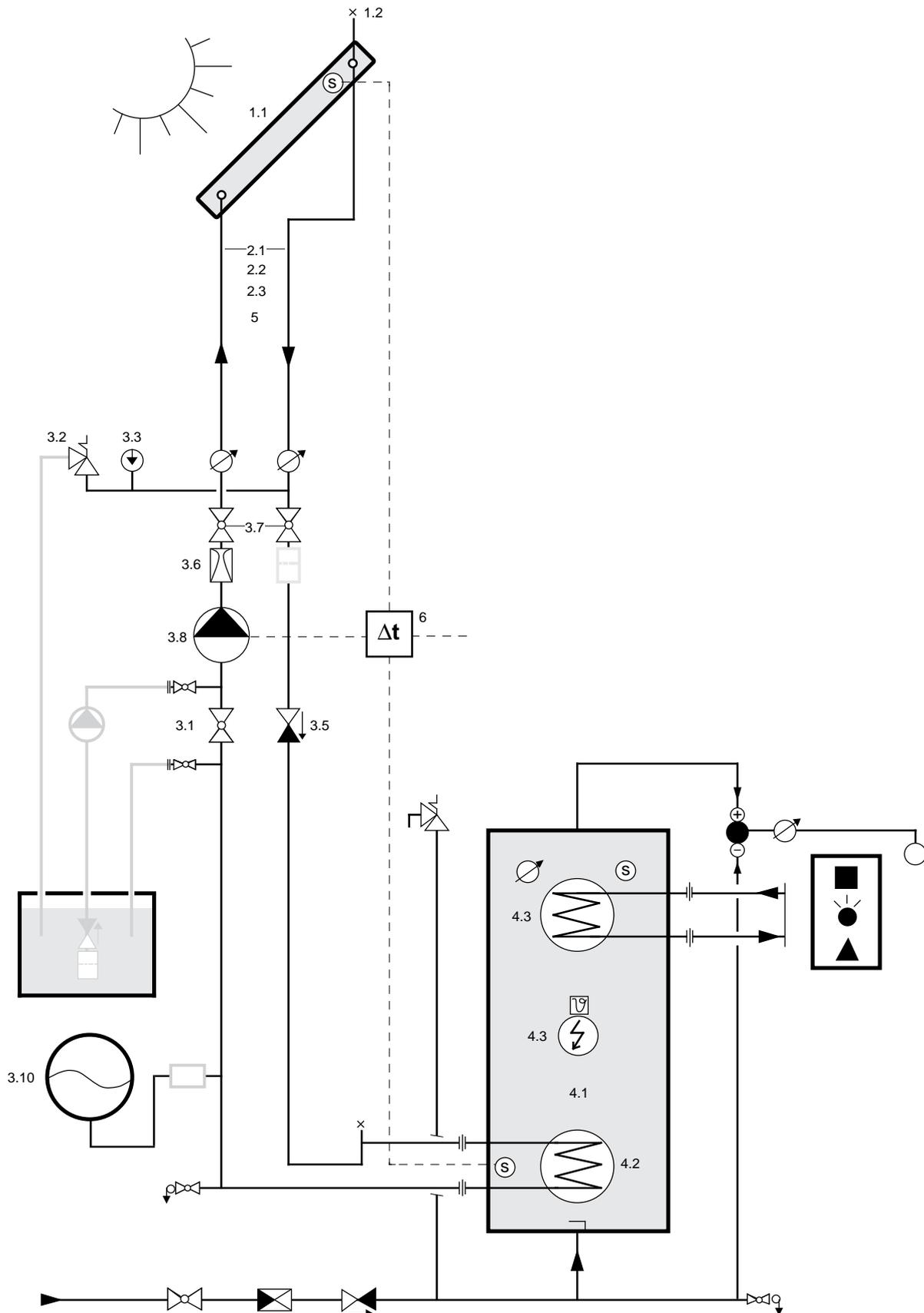


Table des matières

	Schéma de base d'une installation solaire	C	47
1	Matériel pour capteurs solaires	C1	49
1.1	Raccords pour capteurs	C1.1	49
1.1.1	Tuyau en silicone	C1.1	49
1.1.2	Raccords en cuivre	C1.2	50
1.1.3	Flexibles en acier inoxydable	C1.2	50
1.2	Purge des capteurs	C1.2	50
2	Conduites hydrauliques circuit solaire	C2	51
2.1	Tuyauterie	C2.1	51
2.2	Raccords tuyauterie	C2.1	51
2.3	Isolation des conduites	C2.3	52
3	Groupe hydraulique circuit solaire	C3	53
3.1	Vannes d'arrêt, vidanges	C3.1	53
3.2	Soupape de sécurité	C3.2	54
3.3	Manomètre	C3.2	54
3.5	Clapet de retenue	C3.5	55
3.6	Débitmètre	C3.6	56
3.7	Thermomètres	C3.7	57
3.8	Circulateur	C3.7	57
3.10	Vase d'expansion	C3.10	58
4	Chauffe-eau sanitaire	C4	60
4.1	Chauffe-eau	C4.1	60
4.2	Echangeur de chaleur du circuit solaire	C4.2	61
4.2.1	Echangeur à ailettes	C4.2	61
4.2.2	Echangeur à tube lisse	C4.2	62
4.2.4	Echangeur externe	C4.2	63
4.3	Appoint au solaire	C4.3	64
5	Liquide caloporteur	C5	66
6	Régulation circuit solaire	C6	67

1 Matériel pour capteurs solaires

1.1 Raccords pour capteurs

- Fonction
 - Raccordement entre les capteurs solaires d'un même champ.
 - Raccordement d'un champ de capteurs aux conduites aller/retour du circuit solaire.

Ces raccords sont généralement livrés par le fournisseur des capteurs.

- Exigences
 - Résistance à une température de service pouvant varier entre -20°C (température ambiante extérieure en hiver) et $+200^{\circ}\text{C}$ (température de stagnation en été si le circuit solaire est à l'arrêt).
 - Résistance à la pression maximale atteignable dans l'installation (calcul pression maximum, voir pages D12, E12 ou F12).
 - Les matériaux doivent être compatibles avec le fluide caloporteur.
 - Absorber la dilatation du champ des capteurs et des conduites de raccordement

1.1.1 Tuyau en silicone

Plusieurs fabricants de capteurs proposent un tuyau en silicone renforcé de gaine textile.

Ce tuyau est fixé à l'aide de brides de serrage à la sortie et à l'entrée du capteur.

La bride doit être conçue avec une languette de glissement lui permettant de conserver une forme ronde lors du serrage.

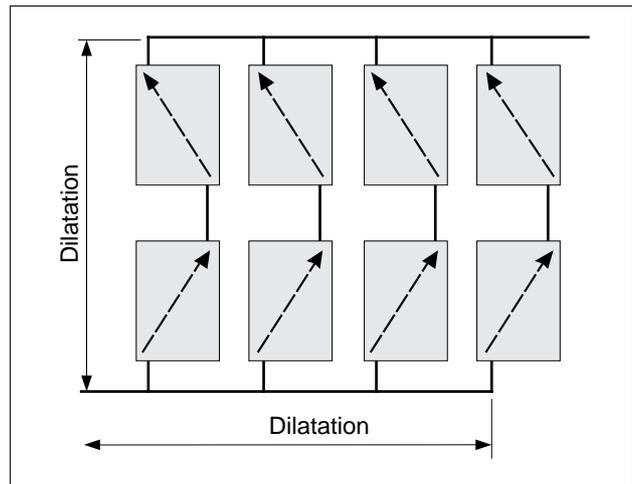


Figure c01 Dilatation dans un champ de capteurs

Valeur de la dilatation linéaire, en mm par mètre et par x degrés (K) d'écart de température pour différents métaux

	1K	100K	200K
cuivre	0.017	1.7	3.4
fer noir	0.012	1.2	2.4
acier inoxydable	0.014	1.4	2.8
aluminium	0.024	2.4	4.8

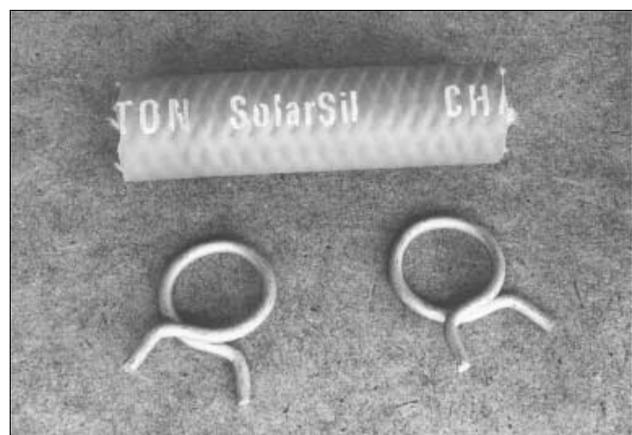


Figure c03 Tuyaux en silicone

1.1.2 Raccords en cuivre

Il est possible de connecter certains types de capteurs entre eux à l'aide de tubes et raccords en cuivre.

Les raccords sont vissés (systèmes à bague de serrage), ou brasés.

1.1.3 Flexibles en acier inoxydable

Les raccords à soufflet flexible en acier inoxydable conviennent très bien. S'il sont équipés de vis de rappel avec joint plat, on veillera à utiliser une qualité de joint résistant à des températures de pointe de 200 °C.



Figure c04 Raccords en cuivre

1.2 Purge des capteurs

• Fonction

Permet d'évacuer l'air du circuit solaire

• Exigences

Voir point 1.1

– Le ou les purgeurs doivent être accessibles en tout temps. Les purgeurs de capteurs situés en toiture inclinée seront ramenés à l'intérieur du bâtiment avec une conduite de faible diamètre (fer 3/8" ou cuivre 6/8).

• Choix

Les purgeurs automatiques sont déconseillés à proximité des capteurs. En effet, le purgeur automatique laisse s'échapper la vapeur qui peut se former dans les capteurs en cas d'arrêt du circulateur lors de fort ensoleillement. D'autre part les parties mobiles s'encrassent rapidement et le purgeur ne fonctionne plus.

La pose de purgeurs à main est donc la solution la plus simple et la plus sûre.



Figure c05 Flexibles en acier inoxydable



Figure c06 Exemple de purge des capteurs

2 Conduites hydrauliques circuit solaire

Les conduites servent à la circulation du liquide caloporteur entre le champ de capteurs et l'échangeur de chaleur.

2.1 Tuyauterie

- Exigences

Les exigences ci-dessous sont valables pour les conduites, les raccords et en général tous les composants du circuit solaire:

- Résistance à une température dans le circuit pouvant varier entre un minimum de -20°C (température extérieure en hiver) et des pointes à $+160^{\circ}\text{C}$ (température atteinte juste après une remise en fonction du circuit solaire après une interruption accidentelle en été).

La température maximum de service à prendre en compte est de 120°C pour des capteurs plans vitrés.

- Résistance à la pression maximale atteignable dans l'installation (calcul pression maximum, voir pages D12, E12 ou F12).
- Les matériaux doivent être compatibles avec le fluide caloporteur.

- Choix

Les matériaux suivants sont couramment utilisés :

- tubes en fer noir, soudés ou sans soudure ;
- tubes de cuivre, en rouleaux ou en barres.

Dans le choix des matériaux il faut tenir compte de la nature de l'absorbeur du capteur :

- absorbeurs en cuivre : les conduites peuvent être en cuivre ou en fer noir ;
- absorbeurs en acier inoxydable : on peut utiliser du cuivre, du fer noir, de l'acier inoxydable,
- absorbeurs en aluminium : les conduites doivent être en fer noir. Ne pas utiliser de tubes cuivre.

Il ne faut jamais utiliser du tube galvanisé, car le zinc réagit avec le mélange eau-glycol et provoque l'apparition de boues ainsi que des problèmes de corrosion.

Les tubes en matière synthétique habituellement utilisés dans les installations de chauffage et sanitaires ne conviennent pas. Ces matériaux ne résistent pas aux hautes températures atteintes dans le circuit lors de fort ensoleillement ou lors d'arrêt inopiné du circulateur (panne de courant).

Si l'on veut utiliser des tubes en acier inoxydable avec des raccords à sertir il est nécessaire d'obtenir des garanties du fournisseur, qui aura besoin des renseignements suivants avant de donner son accord :

- température maximale ;
- type précis de glycol ;
- concentration de glycol ;
- pression maximum dans le circuit solaire.

Les conduites entre le champ de capteurs et l'accumulateur doivent être aussi courtes que possible, afin de minimiser les déperditions thermiques.

2.2 Raccords tuyauterie

- Exigences

Voir point 2.1

- Choix

Dans le cas du fer noir, on peut utiliser :

- des soudures ;
- des brasures ;
- des raccords à visser ;
- des raccords à sertir.

En principe n'utiliser que des pièces en fer noir, jamais des pièces galvanisées. Toutefois on peut admettre que quelques raccords GF galvanisés soient utilisées en cours de montage.

Pour les raccords à visser il faut utiliser de la filasse avec une pâte tout à fait conventionnelle. L'emploi du glycol dans les conduites accroît les risques de fuite. Pour cette raison les joints devront être particulièrement soignés.

L'utilisation de rubans en téflon ou de colles a donné lieu à de mauvaises expériences et est déconseillé.

Pour les tubes en cuivre on peut utiliser plusieurs types de brasures. Celles-ci doivent résister à la température maximale que le système peut atteindre. Les brasures contenant de l'argent sont conseillées pour ces applications.

2.3 Isolation des conduites

- Fonction

Limiter les pertes thermiques des conduites de liaison du circuit solaire.

- Exigences

Afin d'être efficace et durable, l'isolation doit répondre aux exigences suivantes :

- Résistance à la température :
Le matériau isolant doit résister à une brève montée en température dans les conduites, jusqu'à 160°C. La température de service maximum à prendre en compte est de 120°C.
- Résistance aux conditions atmosphériques :
Rayons UV, humidité.

- Choix

Tous les matériaux résistants aux exigences mentionnées ci-dessus, en particulier :

- coquilles en laine de verre ;
- coquilles en laine de pierre ;
- certaines mousses organiques.



Figure c07

3 Groupe hydraulique Circuit solaire

- Fonction

Regroupe la robinetterie du circuit solaire.

- Exigences

Voir point 2.1

- Choix

Le groupe hydraulique peut être assemblé sur le chantier par l'installateur ou livré préfabriqué par le fournisseur des capteurs. Les points 3.1 à 3.10 ci-dessous décrivent la fonction, les exigences et le choix pour les composants du groupe.

3.1 Vannes d'arrêt, vidanges

- Fonction

- Permettre le remplissage et la purge du circuit solaire.
- Faciliter l'entretien éventuel.
- Permettre la vidange du circuit solaire.

- Exigences

Voir point 2.1

- Etanchéité totale.
- Pour les vannes d'arrêt : faibles pertes de charge.

- Choix

- Vannes d'arrêt à bille à passage intégral.
- Vannes d'arrêt à glissières (si étanches!).
- Robinets de vidange équipés de capes étanches.



Figure c08

3.2 Soupape de sécurité

- Fonction

Evite une éventuelle surpression dans le circuit solaire qui serait provoquée par une erreur de manipulation ou une surchauffe des capteurs.

- Exigences

Voir point 2.1.

- La pression d'ouverture doit être adaptée au composant le plus faible du circuit.
- La soupape doit être raccordée à un récipient. Le liquide qui s'écoulerait lors de l'ouverture de la soupape est ainsi récupéré.

Le volume du bac à poser à la sortie de la soupape doit correspondre au contenu des capteurs. Par précaution, pour le cas où la soupape ne fermerait pas après une ouverture (défectuosité ou impureté dans le siège), le bac peut être calculé pour récupérer la totalité de la contenance de l'installation.

- Choix

Les soupapes usuelles que l'on trouve sur le marché conviennent parfaitement bien. La méthode de dimensionnement est indiquée aux pages D12, E12 ou F12.

Définitions :

- Pans = Pression nominale de la soupape de sécurité. C'est la pression du début d'ouverture de la soupape. Cette donnée se trouve dans le catalogue du fournisseur.
- Pabb = Pression d'ouverture totale de la soupape. L'ouverture progressive de la soupape débute à la pression nominale Pans. $Pabb = Pans \times 1.2$
- Psch = Pression effective de fermeture de la soupape = $Pans \times 0.8$

3.3 Manomètre

- Fonction

Indique la pression du circuit et permet son contrôle.

- Exigences

Voir point 2.1

- Le manomètre doit comporter une aiguille ou une zone de repère pour la pression minimale nécessaire au bon fonctionnement du circuit.

- Choix

On peut utiliser les manomètres usuels. La plage de mesure doit être plus grande que la pression effective d'ouverture de la soupape de sécurité. En pratique une plage de 0 à 4 bar suffit.

La méthode de dimensionnement est indiquée aux pages D12, E12 ou F12.



Figure c09

3.5 Clapet de retenue

- Fonction

Empêche la circulation inverse par thermosiphon dans le circuit solaire lorsque le chauffe-eau est à une température supérieure à celle des capteurs. Cette circulation est à éviter car elle engendre le refroidissement de l'accumulateur.

- Exigences

Voir point 2.1.

- Faibles pertes de charge.

- Choix

Modèle à ressort utilisable dans toutes les positions de montage.

Modèle à clapet mobile. N'est pas utilisable pour un montage en position verticale si la partie mobile se trouve en partie inférieure.

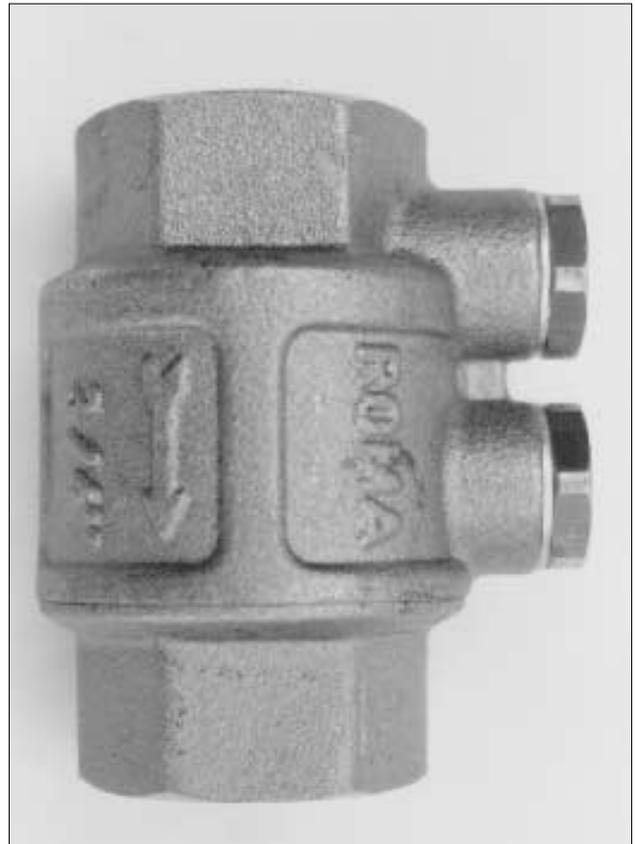


Figure c10

3.6 Débitmètre

- Fonction

Indique le débit du circuit solaire. Cet appareil est utile pour :

- régler le débit correct du circuit lors de la mise en service ;
- contrôler l'absence d'air dans le circuit, grâce à la visualisation du liquide caloporteur ;
- contrôler périodiquement le bon débit dans le circuit ;
- associé aux thermomètres, permet un calcul de la puissance captée ;
- certains modèles font également office de vanne d'arrêt.

- Exigences

Voir point 2.1

- Possibilité de nettoyage de l'indicateur.

- Choix

On peut utiliser un débitmètre usuel. Il faut néanmoins faire attention au fait que le débit mesuré se rapporte à de l'eau et est souvent exprimé en litres/minute.

Si on désire utiliser cette mesure pour effectuer un calcul de la puissance captée, il faut tenir compte de la densité et de la chaleur massique du mélange antigél du circuit.

Le tableau suivant est valable pour un débit d'un litre par heure de liquide caloporteur à une température de 50°C (valeurs approximatives) :

eau	= 4.20 kJ = 1.17 Wh
eau et 35 % antigél	= 4.00 kJ = 1.11 Wh
eau et 50 % antigél	= 3.80 kJ = 1.06 Wh
eau et 90 % antigél	= 3.00 kJ = 0.83 Wh

Pour d'autres conditions consulter les tables aux pages H5.2 «Densité» et H5.4 «Chaleur spécifique».

Exemple de calcul de la puissance captée :

Débit 600 l/h avec 50% antigél et 15°C d'écart de température entre l'arrivée des capteurs et le retour aux capteurs :

$$600 \times 1.06 \times 15 = 9540 \text{ W}$$



Figure c11

3.7 Thermomètres

- Fonction

Ils permettent la mesure des températures :

- de la conduite d'arrivée des capteurs;
- de la conduite de retour aux capteurs.

Ils sont utiles :

- pour le contrôle du fonctionnement de l'installation;
- associé au débitmètre, ils permettent un calcul de la puissance captée.

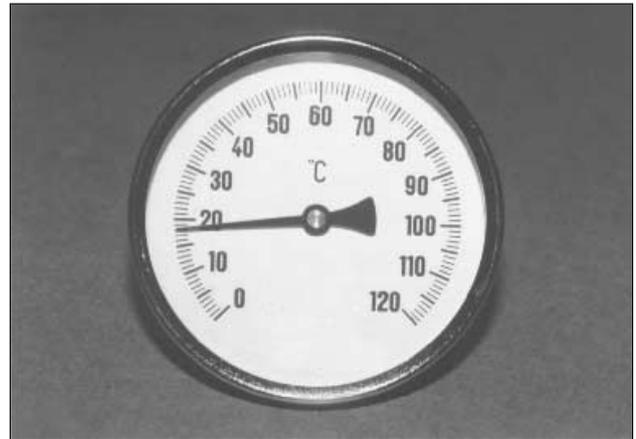


Figure c12

- Exigences

Voir point 2.1.

- Echelle 0 - 120°C.
- Modèles ajustables.

- Choix

Afin d'obtenir une précision suffisante, il faut utiliser des thermomètres avec douille plongeante. Les thermomètres appliques réagissent plus lentement à des variations de température et sont moins précis.

3.8 Circulateur

- Fonction

Véhiculer le liquide caloporteur du circuit capteur.

- Exigences

Voir point 2.1.

- Choix

Les circulateurs standards de la technique du chauffage résistant à une température de 120°C conviennent. Le circulateur doit être installé sur la conduite de retour aux capteurs.

Certains modèles de circulateurs peuvent être équipés d'un purgeur automatique et font office de dégazeur pour l'air restant éventuellement dans le circuit après le remplissage.

Il est également possible d'utiliser des circulateurs alimentés en courant par des cellules photovoltaïques. Dimensionnement indiqué aux pages D10, E10 et F10.



Figure c13

3.10 Vase d'expansion

- Fonction

Le vase d'expansion absorbe l'augmentation de volume du caloporteur lorsque ce dernier s'échauffe.

- Exigences

Voir point 2.1.

Le vase devra être raccordé sur la conduite de retour aux capteurs afin de le protéger contre les hautes températures atteignables dans le circuit. Il doit être placé avant le circulateur (sur l'aspiration).

- Choix

Les vases sous pression usuels employés dans les installations de chauffage conviennent à condition que le matériau de la membrane intérieure résiste aux hautes températures et à l'antigel (se renseigner auprès du fournisseur du vase.)

- Dimensionnement

Le bon dimensionnement du vase d'expansion est primordial pour la sécurité de fonctionnement du circuit solaire.

Dans la pratique, plusieurs méthodes de dimensionnement sont utilisées. Elles sont décrites aux pages D11, E11 et F11. La méthode la plus sûre consiste à choisir le vase de manière à ce qu'il puisse absorber tout le contenu des capteurs (méthode B). Ainsi en cas de surchauffe, suite à une panne de courant conduisant à l'ébullition du contenu des capteurs, la soupape de sécurité ne s'ouvre pas. Une fois les capteurs refroidis, l'installation est prête à fonctionner à nouveau.

Le type de vase doit être dimensionné en fonction de :

- la méthode définie ;
- la pression finale admise dans l'installation;
- Δh = différence de hauteur entre le point haut du circuit et le vase d'expansion;
- la contenance du circuit solaire.

Avant le remplissage de l'installation il est indispensable de contrôler, et si nécessaire d'ajuster, la pression initiale du vase. Cette pression initiale P_a exprimée en bar doit être calculée ainsi :

$$P_a = \Delta h / 10 + 0.3.$$

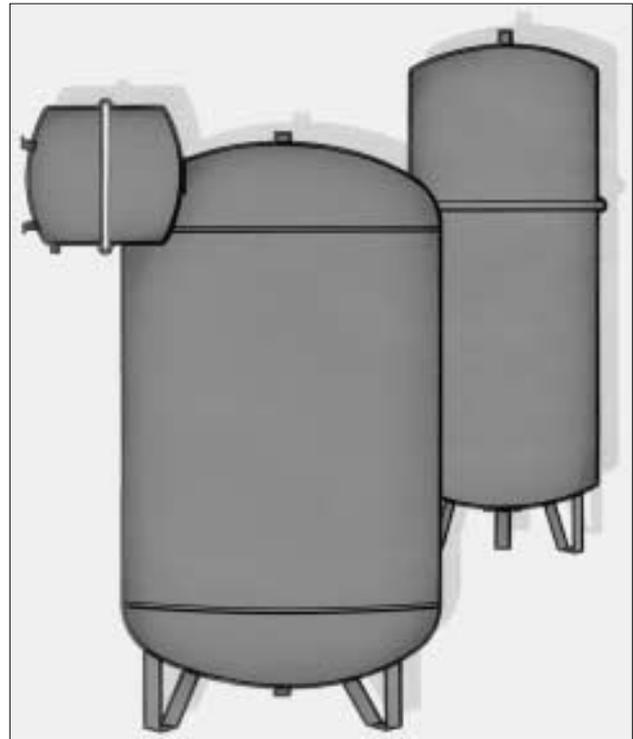


Figure c14

Il est important de tenir compte du fait que le liquide caloporteur du circuit est un mélange eau et antigel. Le coefficient de dilatation d'un tel mélange est plus important que celui de l'eau.

Pour une température dans le circuit variant entre 10 et 120°C, le coefficient de dilatation est le suivant :

Proportion d'antigel%	Dilatation%
35	7
50	7.5
90	8

La valeur prise en compte pour les calculs est de 10%. C'est la dilatation d'un liquide caloporteur avec une proportion de 50% d'antigel, pour une élévation de température de 10 à 140°C.

- Théorie

Le vase est divisé en deux parties par la membrane intérieure: d'un côté le liquide du circuit, de l'autre l'azote du vase.

Etats du vase:

1. Lorsque le circuit hydraulique est vide la pression d'azote comprime la membrane contre les parois du vase.
2. La pression de remplissage du circuit hydraulique comprime déjà la membrane du vase à l'état froid et le vase est partiellement rempli de liquide: c'est le volume initial au remplissage.
3. Lorsque le liquide du circuit s'échauffe, son volume augmente et comprime fortement la membrane qui absorbe ainsi la dilatation.
4. Quand la température redescend, le volume de liquide diminue et le coussin d'azote repousse la membrane.

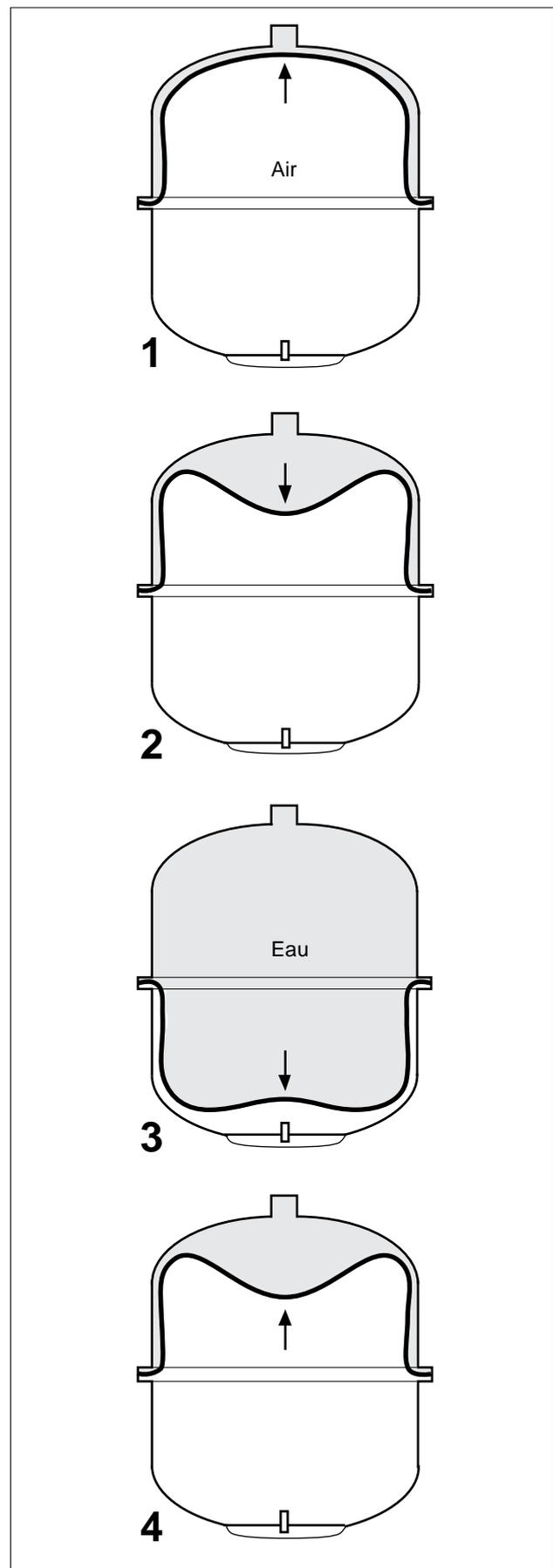


Figure c15

4 Chauffe-eau sanitaire

4.1 Chauffe-eau sanitaire

- Fonction

Préparation d'eau chaude sanitaire et accumulation de l'énergie solaire produite en surplus, pour une utilisation ultérieure.

- Exigences

- Résistance à la corrosion.
- Echangeur du circuit solaire suffisamment grand (voir 4.2 échangeur).
- Isolation soignée.
- Emplacement correct des différents composants : échangeur (s), gaines pour sondes, appoint éventuel etc.
- Détériage aisé.

- Choix

Les exigences quant à la résistance à la corrosion du chauffe-eau solaire ne diffèrent pas de celles d'un chauffe-eau ordinaire.

On peut utiliser des chauffe-eau en :

- acier émaillé sous vide, avec anode ;
- acier inoxydable V4A ;
- acier avec revêtement synthétique de qualité, avec anode.

Afin de favoriser l'effet de stratification dans le chauffe-eau, choisir si possible un modèle ayant un rapport entre la hauteur et le diamètre au moins égal à 2.5.

Exemple : \varnothing non isolé 60 cm ; hauteur minimale non isolée = $60 \times 2.5 = 150$ cm.

Les valeurs légales pour l'isolation doivent bien sûr être respectées. Une isolation renforcée améliore l'efficacité du système et prolonge l'autonomie du stock.

Le support du chauffe-eau, ainsi que les flasques pour le nettoyage ou pour la pose d'échangeurs immergés doivent bénéficier d'une isolation soignée. Il en va de même des conduites de raccordement au chauffe-eau.

Veiller à la température de service maximale admissible dans le chauffe-eau lorsque celui-ci est protégé de la corrosion par un revêtement synthétique.

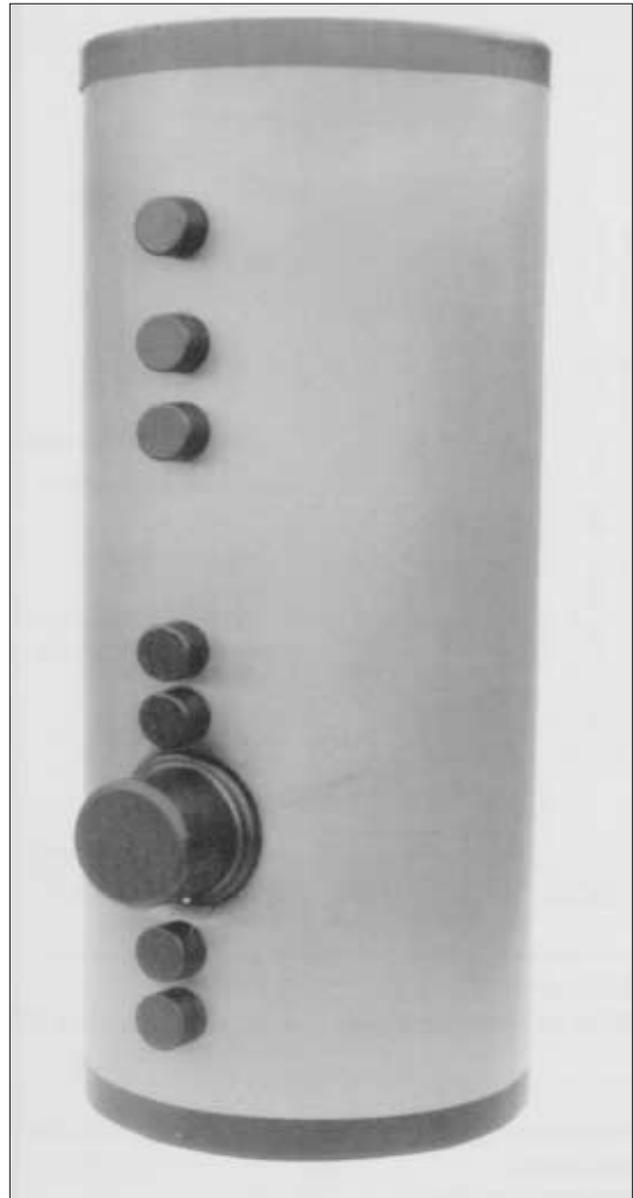


Figure c16

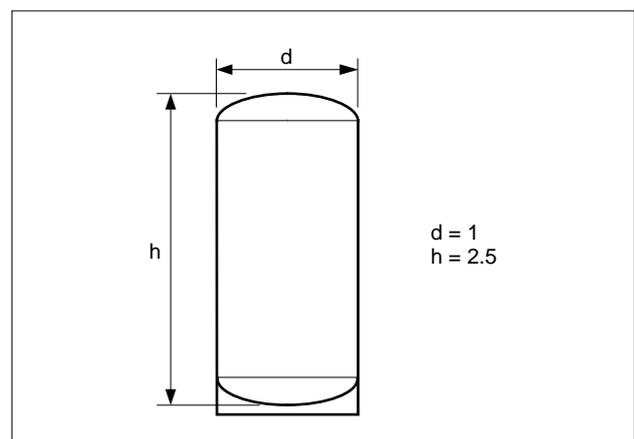


Figure c17

- Dimensions du chauffe-eau

Lors de l'étude veiller aux points suivants :

- contrôler l'accès pour le véhicule de transport;
- mesurer :
 - les portes;
 - les cages d'escalier;
 - les hauteurs des locaux.

Si l'accumulateur doit être introduit couché et remis ensuite en position verticale dans le local, tenir compte de la cote diagonale de l'accumulateur.

Si l'introduction d'un seul gros chauffe-eau est impossible, prévoir plusieurs unités plus petites ou souder l'accumulateur sur place.

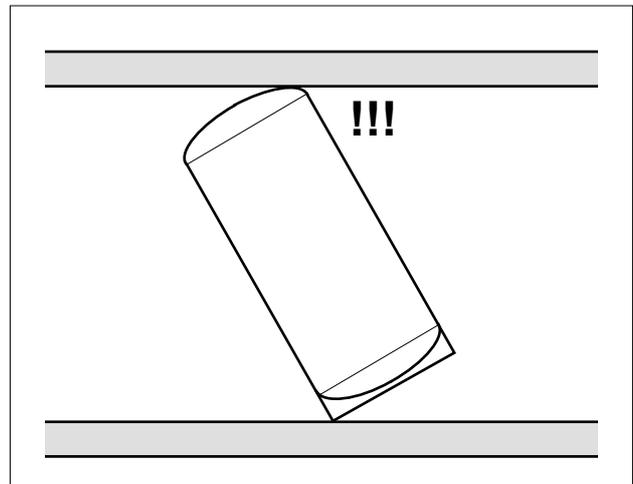


Figure c18

4.2 Echangeur de chaleur du circuit solaire

- Fonction

L'échangeur de chaleur permet de transférer la chaleur du circuit solaire, rempli d'antigel, au circuit secondaire d'eau sanitaire.

On distingue entre échangeur immergé et échangeur externe à l'accumulateur.

Dans le cas des échangeurs immergés, il faut veiller à ce que l'eau à réchauffer puisse circuler librement autour de l'échangeur.

L'échangeur immergé est généralement utilisé pour des surfaces de capteurs jusqu'à 30 m².

4.2.1 Echangeur à ailettes

Cet échangeur immergé est réalisé en tube de cuivre muni d'ailettes, étamé à l'extérieur. Il est monté sur une flasque soudée au chauffe-eau.

Afin d'éviter des corrosions à la cuve, l'échangeur doit être monté de manière à être isolé électriquement du chauffe-eau et des conduites de raccordement du circuit hydraulique. Pour cela, il est nécessaire de l'équiper de manchons isolants lors de son montage sur la flasque et d'installer des raccords spéciaux entre l'échangeur et les conduites.

- Avantages :

Coût réduit, faible encombrement, démontable pour le détartrage.



Figure c19

- Inconvénient :
L'entartrage éventuel des ailettes provoque une forte diminution de l'échange thermique. Toutefois la pratique a montré que l'entartrage de l'échangeur solaire placé en partie inférieure du chauffe-eau, dans la zone froide, est moins marqué que pour un échangeur d'appoint placé lui dans la partie supérieure du chauffe-eau.
- Dimensionnement :
voir pages D14 et F14.

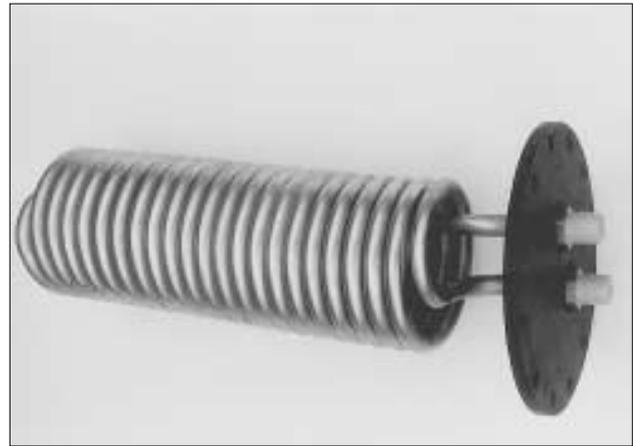


Figure c20 Echangeur immergé à tube lisse, sur flasque

4.2.2 Echangeur à tube lisse

Cet échangeur est également du type immergé. Il est constitué d'un tube enroulé, en acier inoxydable ou en acier émaillé.

Deux types de montage sont employés :

- Monté sur le couvercle d'une flasque soudée à la cuve.
- Fixé, en forme de spirale, à proximité des parois de la cuve.

- Avantage :
Les tubes lisses sont moins sensibles au tartre car la diminution de la puissance d'échange due à l'entartrage est progressive, contrairement aux tubes à ailettes où la diminution est subite.
- Inconvénients :
Les échangeurs en acier inoxydable sont chers. Il n'est pas facile de détartrer mécaniquement les échangeurs fixes.
- Dimensionnement :
voir pages D14 et F14

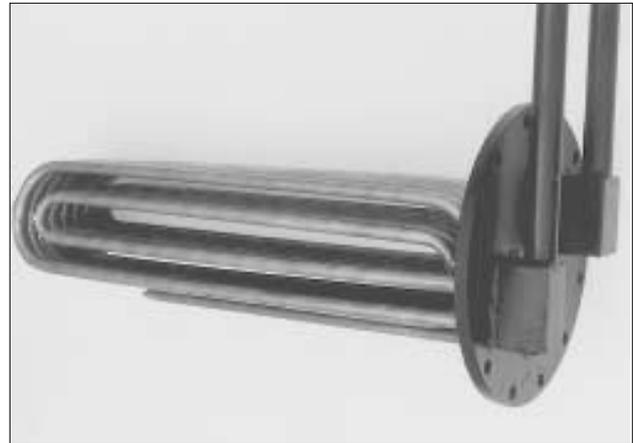


Figure c21 Echangeur immergé à tubes lisses en faisceau, sur flasque

4.2.3 Echangeur externe

L'échangeur externe est indiqué :

- dans les grandes installations solaires, dès 30 m² de capteurs environ;
- lorsque l'on désire chauffer plusieurs cuves en parallèle.

On utilise des échangeurs à faisceau de tubes, et plus fréquemment des échangeurs à plaques. Les modèles à plaques sont brasés et indémontables ou assemblés par tiges boulonnées. Des isolations appropriées sont disponibles chez les fournisseurs.



Figure c22 Echangeur à plaques

- Avantages :

Coût réduit, faible encombrement.

Les échangeurs à plaques boulonnés peuvent être démontés pour le détartrage ; ils peuvent même être agrandis si nécessaire.

Un seul échangeur externe permet de charger plusieurs accumulateurs en parallèle.

Un échangeur externe peut chauffer le bas de la cuve, ainsi toute la capacité de stockage est utilisée. Ceci n'est pas le cas avec certains types d'échangeurs montés sur flasque qui ne peuvent pas être pliés contre le fond de la cuve lors de leur mise en place.

- Inconvénients :

Les échangeurs externes nécessite un circulateur pour le circuit secondaire.

Les échangeurs à plaques brasés ne peuvent être détartrés que chimiquement.

4.3 Appoint au solaire

• Fonction

Assure en tout temps le complément de chaleur éventuellement nécessaire au solaire.

• Exigences

- Si un seul chauffe-eau est installé, l'appoint doit chauffer la partie supérieure du réservoir.
- Si deux chauffe-eau sont installés, l'appoint doit chauffer tout ou partie du deuxième chauffe-eau (en aval).

- Le volume d'eau chauffé par l'appoint doit correspondre à la plus grande de ces deux valeurs :

1. Besoin de pointe.
 2. Besoin journalier divisé par le nombre journalier d'enclenchement disponible ou autorisé.
- La puissance de l'appoint doit être adapté au temps durant lequel il est disponible et au volume d'eau à chauffer. Pour les calculs on tiendra compte du cas extrême pour la température de base de l'eau à chauffer, soit 10°C. Dans la pratique, l'eau sanitaire est presque toujours au moins préchauffée par le solaire.

• Choix

- Appoint par un corps de chauffe électrique: (figure c23).

La plus part du temps, l'énergie électrique est disponible la nuit et à bas tarif. Pour cette raison, le volume de l'appoint (eau prête à la consommation) correspond environ à la consommation journalière.

On utilisera ce type d'installation si aucune autre source d'appoint n'est à disposition.

- Appoint par un échangeur alimenté par une chaudière: (figure c24).

Lorsque l'appoint est assuré par le mazout ou le gaz, il est théoriquement toujours disponible. Toutefois, en raison de prescriptions ou pour assurer un bon rendement de chaudière, il arrive souvent qu'une régulation limite cette disponibilité. Le volume chauffé par l'appoint dépend du nombre et de la durée des périodes durant lesquelles l'appoint est libéré. Pour le calcul du volume d'appoint, on tiendra également compte des besoins de pointe horaires (voir ci-dessus « Exigences »).

Si l'appoint est assuré par une chaudière bois, le volume chauffé par l'appoint pourra être plus important.

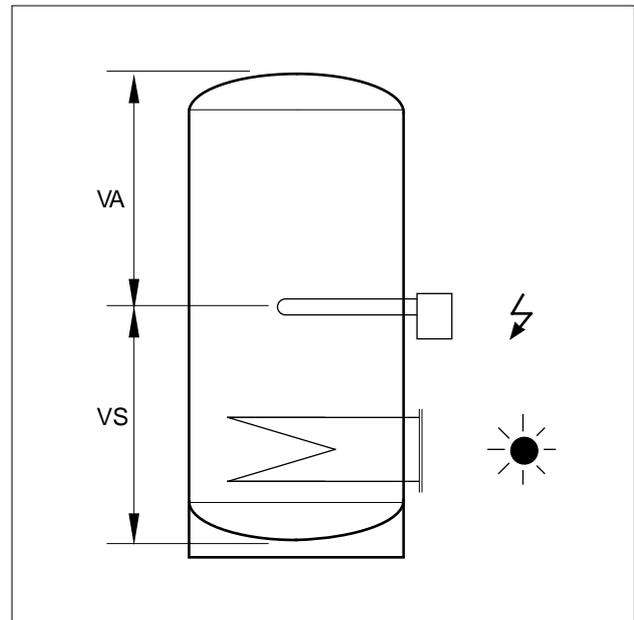


Figure c23

VS = Volume d'eau réservé pour le chauffage par l'énergie solaire

VA = Volume d'eau réchauffé ou chauffé par l'appoint

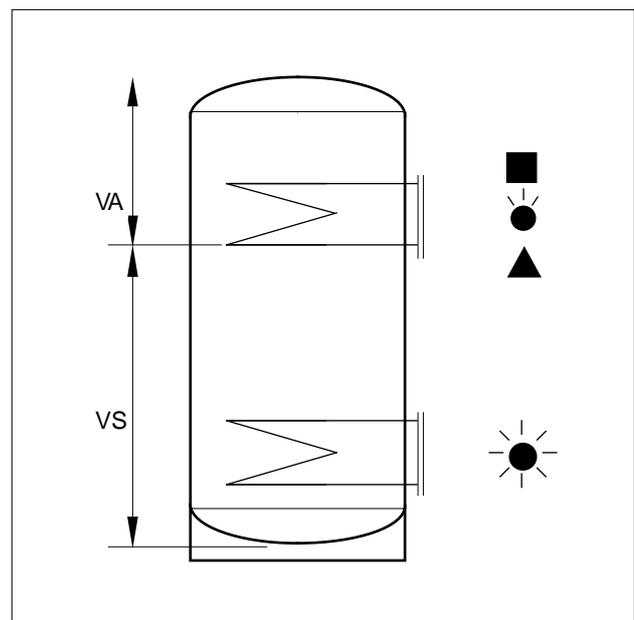


Figure c24

VS = Volume d'eau réservé pour le chauffage par l'énergie solaire

VA = Volume d'eau réchauffé ou chauffé par l'appoint

On utilisera ce type d'installation si on dispose d'une chaudière et que l'on ne désire pas utiliser d'électricité.

- Appoint par une chaudière en hiver et par l'électricité en été: (figure c25).

En période de chauffage, le volume d'appoint sera réchauffé à la température voulue par la chaudière.

Hors de la période de chauffage, l'appoint est assuré par le corps de chauffe électrique.

C'est une bonne solution dans les maisons familiales car on ne recourt à l'électricité que durant la période estivale ou les besoins en énergie d'appoint sont très réduits. Cette solution évite l'enclenchement de la chaudière pour de courtes périodes, ce qui aurait pour conséquence un mauvais rendement de combustion.

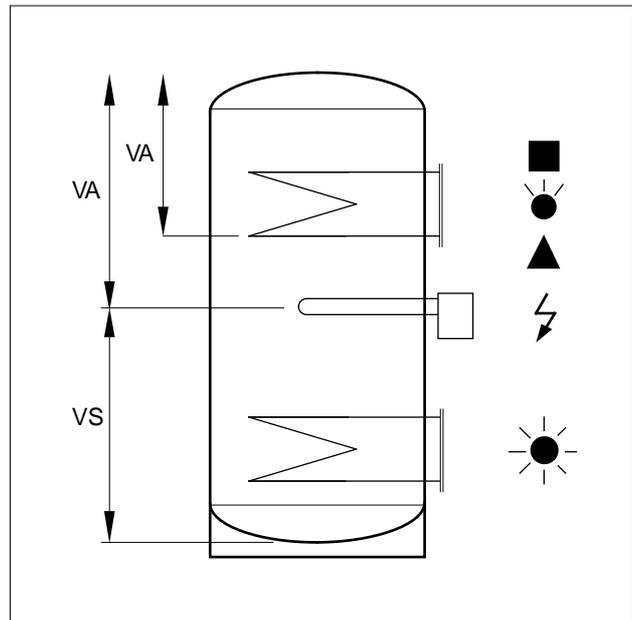


Figure c25

VS = Volume d'eau réservé pour le chauffage par l'énergie solaire

VA = Volume d'eau réchauffé ou chauffé par l'appoint

5 Liquide caloporteur

- Fonction

Transporte la chaleur des capteurs à l'échangeur, et à travers lui au consommateur de chaleur.

- Exigences

- Point de congélation adapté aux conditions climatiques locales ou répondant aux recommandations du fabricant des capteurs.
- Point d'ébullition élevé: plus de 140°C à 3 bar pour une proportion de 50% d'antigel.
- Bonne stabilité chimique.
- Grande capacité calorifique.
- Non toxique.
- Doit contenir en proportion suffisante des inhibiteurs de corrosion.

- Choix
(tableaux chapitre H)

En raison des risques de gel l'hiver dans les capteurs et dans les conduites extérieures, le caloporteur utilisé est un mélange d'eau et d'antigel. Les types d'antigel les plus courants sont :

- l'éthylène glycol ;
- le propylène glycol, qui est non toxique, est recommandé pour l'utilisation dans les installations solaires.

Plus la proportion d'antigel est élevée, meilleure est la protection antigel (tableau page H6.1) et plus haut est le point d'ébullition (tableau H6.2).

L'emploi d'antigel dans le liquide caloporteur engendre un certain nombre de modifications ou d'inconvénients par rapport à de l'eau seule :

- les pertes de charge sont plus importantes ; elles augmentent avec la proportion d'antigel (tableau page H6.3) ;
- la capacité calorifique est plus faible (tableau page H6.4) et la densité est différente de celle de l'eau (tableau page H6.5) ;
- l'expansion est plus importante (tableau page H6.6) ;
- le coefficient d'échange thermique à travers l'échangeur de l'accumulateur est plus faible (tableau page H6.7) ;
- des joints qui pourraient être étanches à l'eau, sont inétanches avec les mélanges à base de glycol.

Il est impératif de tenir compte des points ci-dessus lors du dimensionnement des composants du circuit solaire, et en particulier :

- du circulateur ;
- du vase d'expansion ;
- de l'échangeur de chaleur. Si ce dernier est dimensionné par le fournisseur, vérifier que l'antigel est pris en compte dans les calculs !

- Précautions

- Il faut éviter des proportions de moins de 20% de glycol, car la concentration en inhibiteurs de corrosion est trop faible et la protection contre le gel n'est plus toujours assurée.
- Il faut toujours se référer au fabricant des capteurs pour le choix du liquide caloporteur.
- Les mélanges antigel destinés à des capteurs solaires en acier inoxydable doivent être exempt de ions chlorés. Si l'eau du réseau local est chlorée, on emploiera un caloporteur fourni par le fabricant des capteurs ou on utilisera de l'eau de source pour effectuer le mélange.
- Ne jamais mélanger plusieurs types d'antigel entre eux.
- Brasser le mélange d'eau et d'antigel avant de l'introduire dans le circuit solaire.

6 Régulation circuit solaire

• Fonction

La régulation a pour fonction d'enclencher le circulateur lorsque les capteurs peuvent fournir de la chaleur et de le déclencher dans le cas contraire.

• Exigences

- Précision suffisante: l'erreur additionnée des composants ne doit pas excéder 3 degrés.
- Les seuils d'enclenchement et de déclenchement du circulateur doivent pouvoir être réglés séparément.
- Lampe témoin d'enclenchement du circulateur.
- Un indicateur digital intégré pour les températures mesurées par les sondes capteurs et chauffe-eau est utile.
- Résistance de la sonde capteur aux hautes températures (jusqu'à 200°C), et à l'humidité (condensation).
- L'emplacement et le montage des sondes doit être correct (voir pages G1.14 et G1.15, chapitre G).

• Fonctionnement

Les températures de référence sont mesurées à l'aide de sondes placées l'une à la sortie du champ de capteurs, l'autre dans le bas de l'accumulateur, à la hauteur de l'échangeur de chaleur. Les sondes transmettent un signal électrique qui est fonction de la température mesurée:

- les résistances métalliques (platine ou nickel) ont leur résistance qui augmente quasi proportionnellement à la température;
- les thermistances ou NTC, ont leur résistance qui diminue fortement lorsque la température augmente.

Ces sondes sont raccordées à un régulateur qui compare entre elles les valeurs mesurées.

Le circulateur solaire fonctionne dès que la différence de température entre les capteurs et l'accumulateur (ou autre consommateur de référence) est plus élevée que le seuil d'enclenchement réglé. Il est déclenché si cette différence de température descend en dessous du seuil de déclenchement réglé.

Des seuils d'enclenchement et déclenchement différenciés permettent d'éviter que l'installation ne pendule. La différence entre les deux seuils s'appelle l'hystérèse. Le seuil d'enclenchement doit toujours être réglé plus haut que le seuil de déclen-

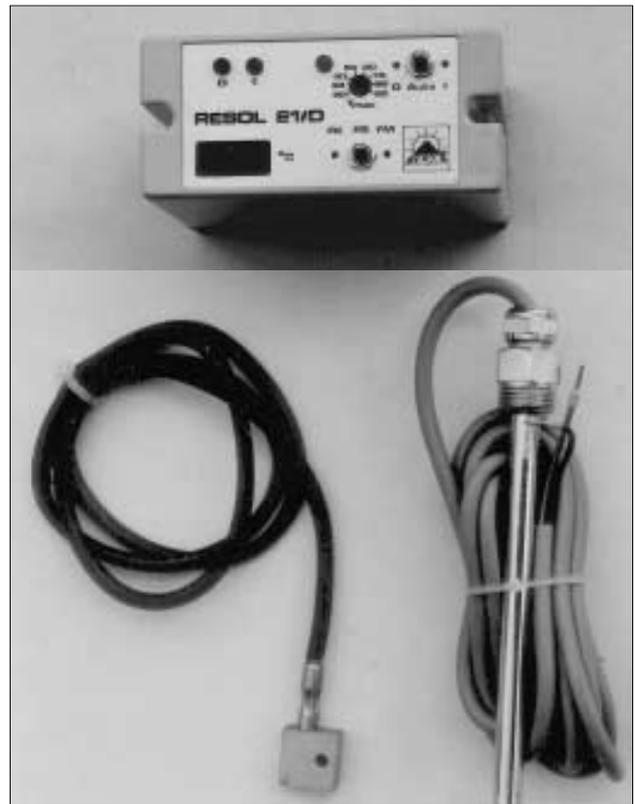


Figure c26

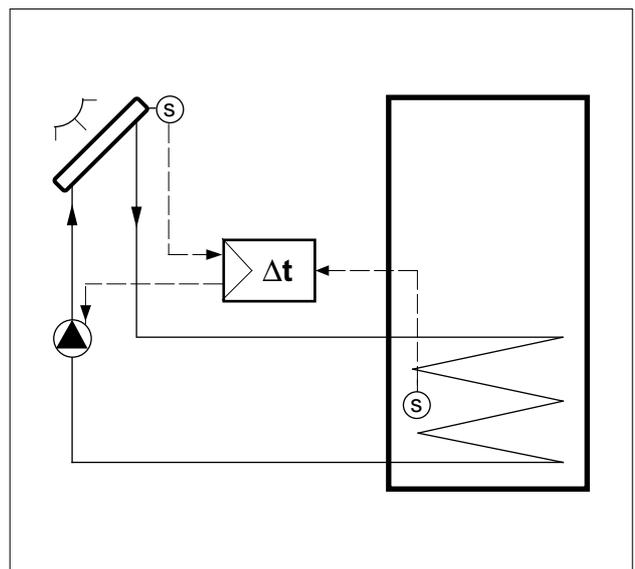


Figure c27

chement. Il permet d'accumuler une certaine quantité d'énergie dans les capteurs qui permettra de chauffer les conduites après la mise en fonction du circulateur.

Proposition de réglage pour une installation de production d'eau chaude avec un chauffe-eau sanitaire:

- seuil d'enclenchement 6K;
- seuil de déclenchement 2K.

Les régulations pour les installations avec un échangeur externe comporte en plus un relais temporisé ou un deuxième régulateur par températures différentielles pour la commande du circulateur secondaire (figure c28).

Les installations solaires plus complexes comportent plusieurs régulateurs et différentes logiques permettant d'optimiser le fonctionnement et de choisir les priorités de charge.

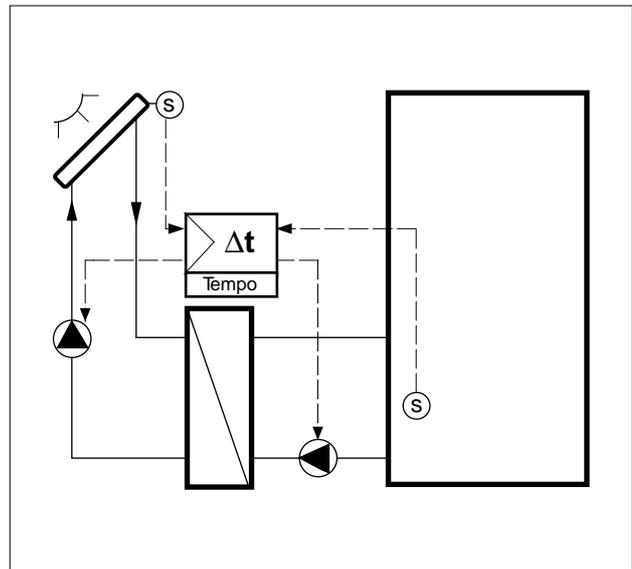


Figure c28

D Production d'eau chaude sanitaire pour maisons familiales

Schéma de l'installation standard	D1	70
Table des matières	D2	71

Schéma de l'installation standard

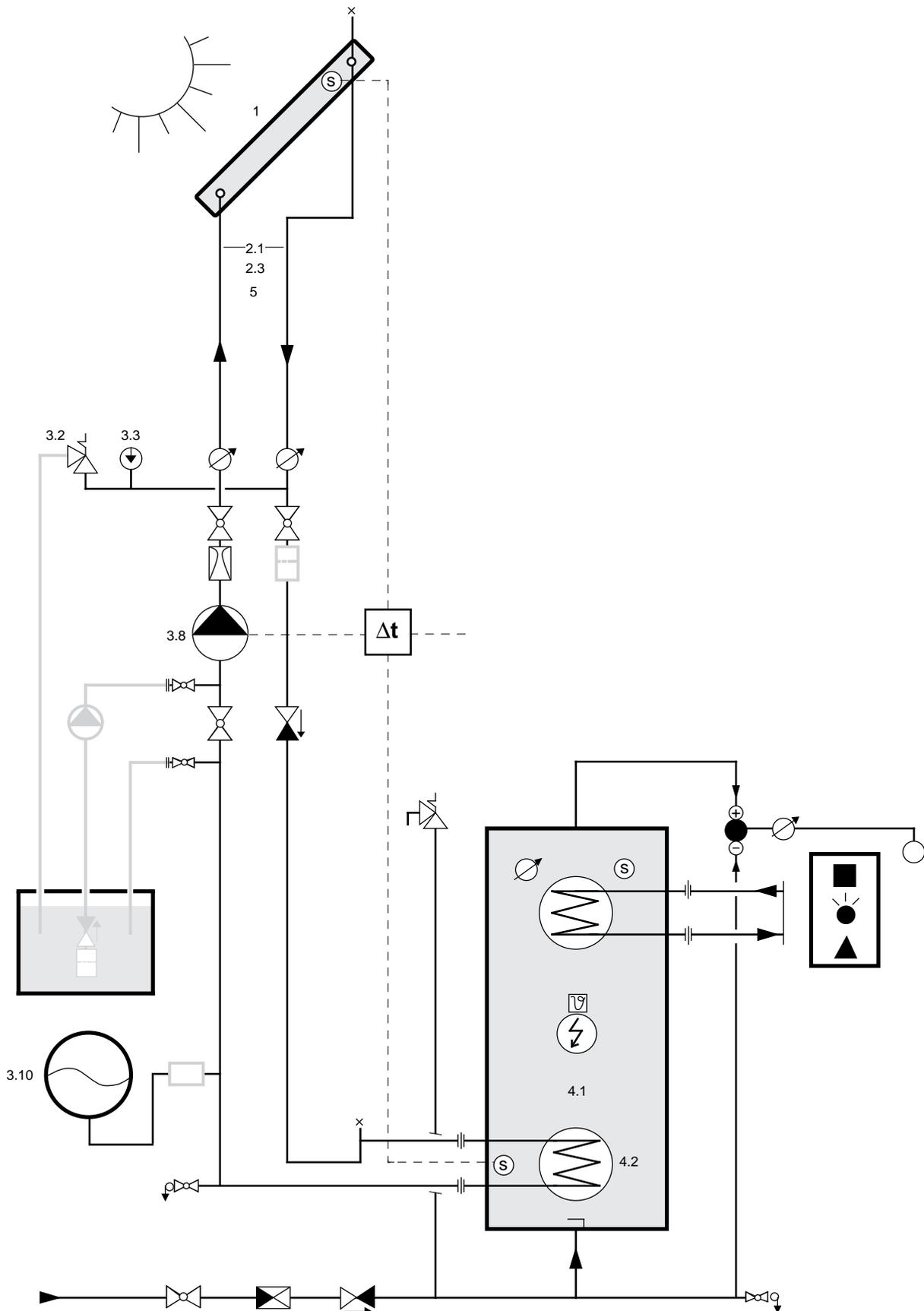


Table des matières

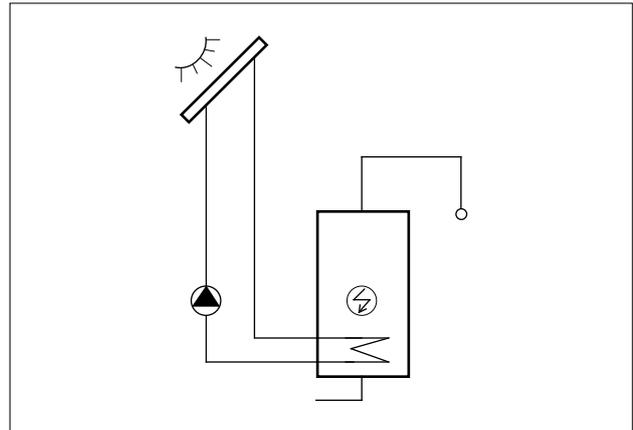
Le but du chapitre D est de présenter une méthode permettant de dimensionner les composants d'une installation solaire de production d'eau chaude sanitaire, de manière simplifiée ou de manière détaillée.

La fourchette de dimensionnement est valable pour des besoins en eau chaude équivalents à 2 à 12 personnes consommatrices, avec des indications jusqu'à 20 personnes.

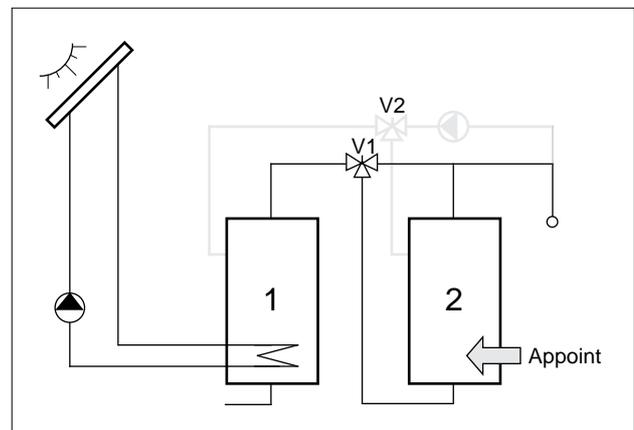
		Page
Schéma de l'installation standard	D1	70
Variantes et compléments au schéma de base	D3	72
Procédure pour le dimensionnement d'une installation	D4	73
Définition de l'installation standard	D5	74
Installations standards prédimensionnées	D6	75
<hr/>		
Dimensionnement précis des composants :		
1	Capteurs solaires	D7 76
<hr/>		
2	Conduites hydrauliques circuit solaire	D8 80
2.1	Tuyauterie	D8 80
2.3	Isolation des conduites	D8 80
<hr/>		
3	Groupe hydraulique circuit solaire	D9 81
3.8	Circulateur	D10 81
3.10	Vase d'expansion	D11 84
3.2	Soupape de sécurité	D12 86
3.3	Manomètre	D12 86
<hr/>		
4	Chauffe-eau sanitaire	D13 87
4.1	Chauffe-eau	D13 87
4.2	Echangeur de chaleur solaire	D14 89
<hr/>		
5	Liquide caloporteur	D15 90
<hr/>		
Récapitulation des données techniques		D16 92
Exemple d'offre		D17 94

Variantes et compléments au schéma de base

- Utilisation de l'électricité comme énergie d'appoint
Afin de profiter de l'énergie électrique nocturne à bas tarif, le corps de chauffe se trouve à mi-hauteur du chauffe-eau.

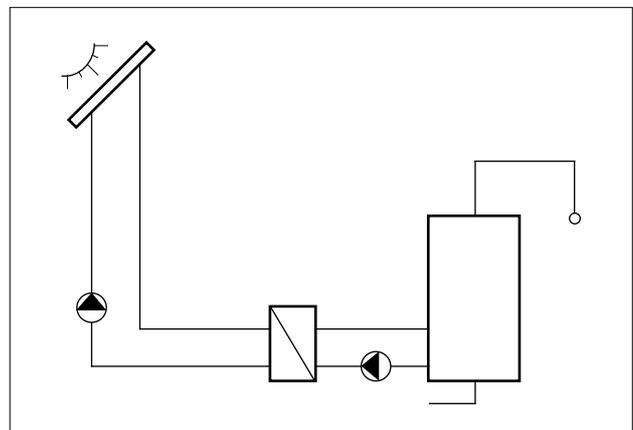
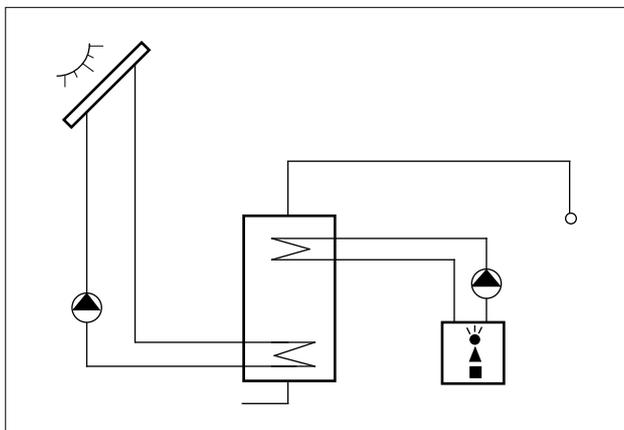


- Installation avec 2 chauffe-eau
 - Les chauffe-eau sont connectés en série, l'appoint est stocké dans le chauffe-eau (2).
 - Si le chauffe-eau d'appoint (2) est existant et mal isolé, la vanne 3 voies (V1) permet de court-circuiter ce chauffe-eau d'appoint en été.
 - Si une circulation est existante ou prévue, la vanne 3 voies (V2) permet de diriger le retour de la circulation vers l'un ou l'autre des chauffe-eau :
 - en hiver vers le chauffe-eau d'appoint (2) ;
 - en été vers le chauffe-eau solaire (1).

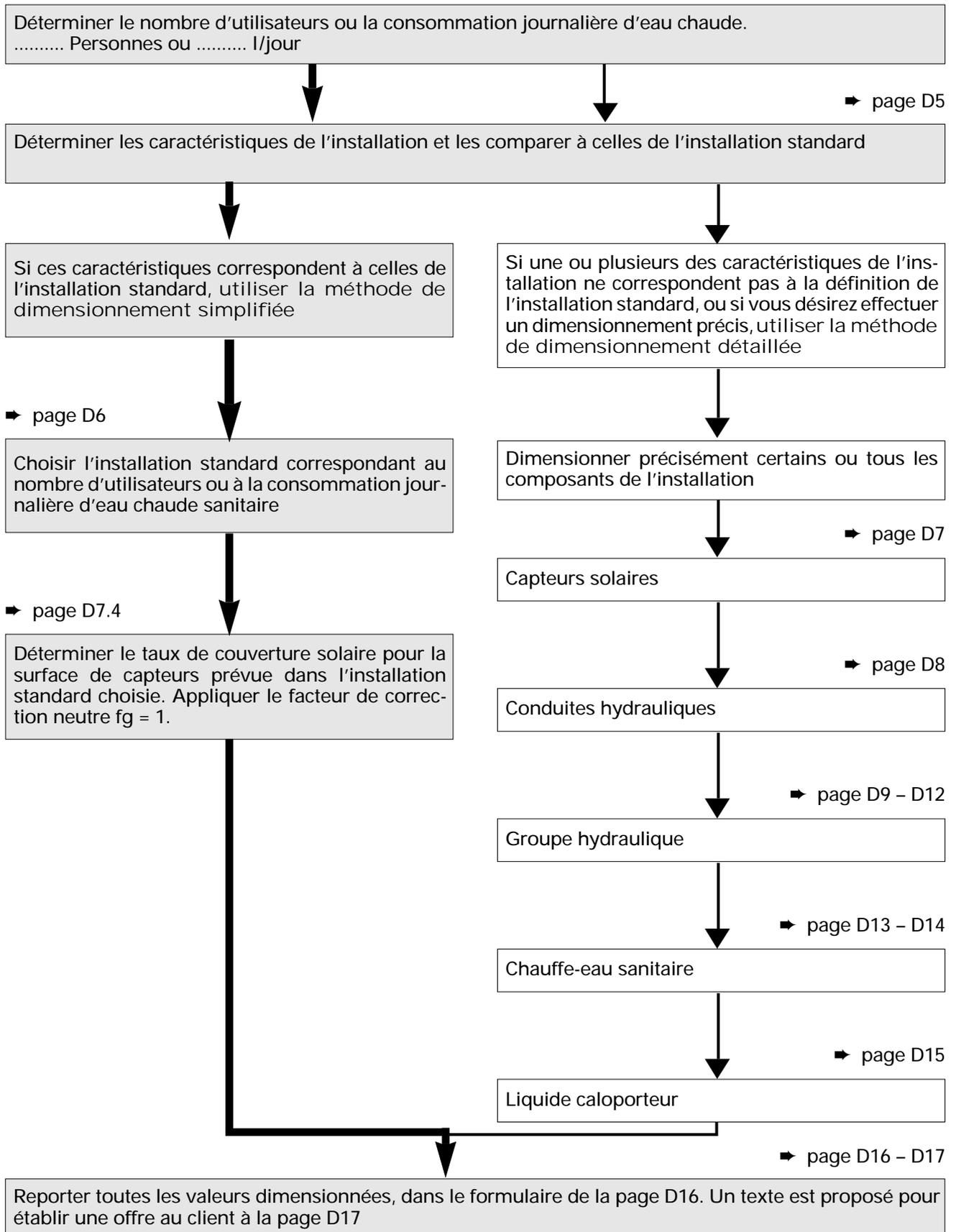


- Utilisation de bois, gaz ou mazout comme énergie d'appoint
L'échangeur de chaleur de l'appoint se trouve dans la partie supérieure du chauffe-eau. La quantité d'eau chauffé par l'appoint doit couvrir les besoins de pointe.
Si l'appoint est prévu par l'énergie bois, l'échangeur peut être situé plus bas.

- Installation avec un échangeur externe
Pour des raisons de coûts, ce type d'échangeur n'est en principe pas utilisé dans le cas de petites installations (Voir chapitre E, page E14)



Procédure à suivre pour le dimensionnement d'une installation



Définition de l'installation standard

Page	Données pour le dimensionnement	Unité	Installation standard	Valeurs recommandées
D7	1 Capteurs solaires Consommation d'eau chaude par personne et par jour Inclinaison des capteurs - Plateau - Valais, Alpes, sud des Alpes Orientation des capteurs Rendement des capteurs $\eta = 0.05$ Surface relative de capteurs (A_{relT})	l/j p à 55°C ° (degrés) ° (degrés) ° (degrés) %	50 15-60 25-60 -45 est à +45 ouest 50-65 1.2	- 30-45 45-60 -30 est à +30 ouest - 1.0-1.5
D8	2 Conduites hydrauliques Débit par m ² de capteur Proportion d'antigel Longueur des conduites Epaisseur d'isolation	l/h m ² % m mm	40-50 35-50 20-40 20-40	SF SF - 20-40
D9	3 Groupe hydraulique			
D10	Circulateur - débit par m ² de capteur - proportion d'antigel - surface de capteurs branchés en série	l/h m ² % m ²	40-50 35-50 SF	SF SF SF
D11	Vase d'expansion - Δh = différence de hauteur entre le point le plus haut de l'installation et le vase d'expansion - Δvs = différence de hauteur entre le vase et la soupape - méthode de calcul	m m méthode	< 10 1 à -1 B	< 13 - Bon C, SF
D12	Soupape de sécurité - Pans = pression nominale - P _c = pression nominale autorisée dans les capteurs	bar bar	3 >2.5	- SF
D13	4 Chauffe-eau sanitaire			
D13	Chauffe-eau VT= volume total par personne	l /personne	70-100	85
D14	Echangeur de chaleur - ΔT_m = différence de température moyenne entre circuit solaire et chauffe-eau - surface par m ² de capteur	K m ² /m ²	5-15 0.2 - 0.25	10 0.2
D15	5 Liquide caloporteur Proportion d'antigel Contenance des capteurs	% l/m^2	35-50 < 2.3	SF SF

Note: SF = Données selon fournisseur des capteurs solaires

Installations standards prédimensionnées

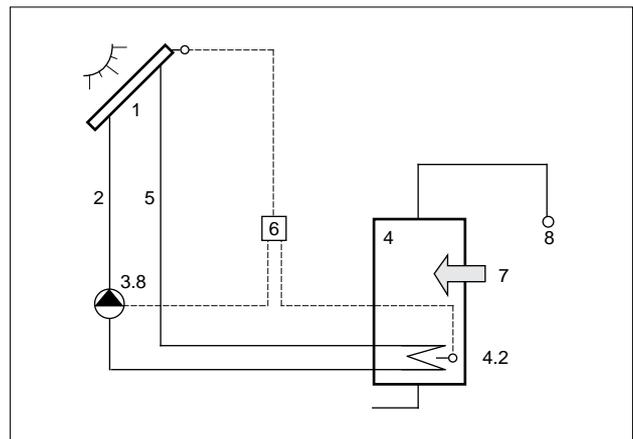
Nombre de personnes	Consommation journalière d'eau chaude à 55°C, en l/j	Surface de capteurs en m ² (1.2 m ² / personne)	Diamètre de la tuyauterie du circuit solaire Ø	Débit du circulateur en l/h	Pression du circulateur, en mbar (x 0.01 = mCE)	Vase d'expansion, type (méthode B)	Chauffe-eau, volume total VT, en litres	Echangeur de chaleur solaire, surface en m ²	Liquide caloporteur, quantité en litres
2	100	2.4	3/8"	120	160	25	200	0.5	15
3	150	3.6	3/8"	180	200	35	250	0.7	20
4	200	4.8	1/2"	240	200	50	350	1.0	25
5	250	6.0	1/2"	300	250	50	450	1.2	30
6	300	7.2	1/2"	360	350	80	500	1.5	35
7	350	8.4	3/4"	420	350	80	600	1.7	40
8	400	9.6	3/4"	480	200	80	700	1.9	45
9	450	10.8	3/4"	540	220	110	750	2.2	50
10	500	12.0	3/4"	600	250	110	800	2.4	55
11	550	13.2	3/4"	660	300	110	900	2.7	60
12	600	14.4	3/4"	720	350	110	1000	2.9	65

- Pression nominale de la soupape de sécurité: 3 bar
- Manomètre avec échelle de 0 à 4 bar
- Les valeurs utilisées pour le dimensionnement d'une installation standard sont répertoriées à la page D5
- Le taux de couverture solaire est à déterminer à l'aide du diagramme 1.05 de la page D7.4. Appliquer le facteur de correction neutre $F_g = 1$

Fonctionnement

Lorsque la température des capteurs dépasse la température du bas du chauffe-eau, le circulateur solaire (3.8) est enclenché.

Lorsque cette différence n'est plus assez grande (en général inférieure à 2K) le circulateur est déclenché.



Éléments principaux de l'installation

- 1 Capteurs solaires
- 2 Conduites du circuit solaire
- 3.8 Circulateur
- 4 Chauffe-eau sanitaire
- 4.2 Echangeur immergé
- 5 Liquide caloporteur
- 6 Régulation
- 7 Appoint
- 8 Consommateurs d'eau chaude

1 Capteurs solaires

1.01	Données pour le dimensionnement	Unité	Installation standard	Valeurs recommandées
	Consommation d'eau chaude par personne et par jour	l/j p à 55°C	50	–
	Inclinaison des capteurs - Plateau - Valais, Alpes, sud des Alpes	° (degrés) ° (degrés)	15-60 25-60	30-45 45-60
	Orientation des capteurs	° (degrés)	-45 est à +45 ouest	-30 est à +30 ouest
	Rendement des capteurs $\eta = 0.05$	%	50-65	**
	Surface relative théorique de capteurs (A_{relT})	m ² /personne	1.2	1.0 - 1.5

- Informations complémentaires à la méthode de dimensionnement

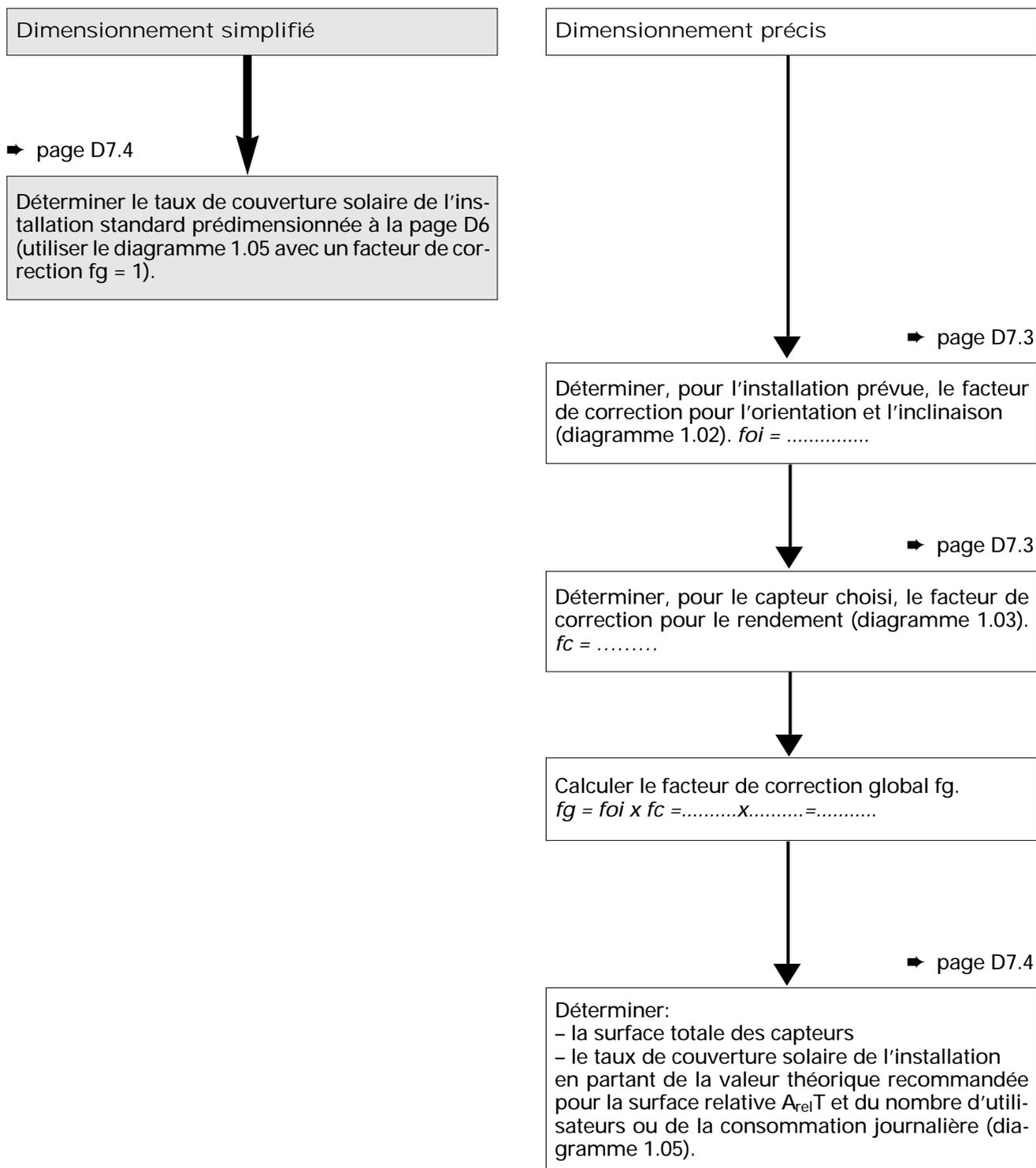
- Une surface de captage relative théorique (A_{relT}) supérieure à 1,2 m² par personne permet généralement de se passer d'appoint durant l'été.
- On arrondira la valeur de la surface de captage vers le haut, en fonction de la taille des capteurs choisis.

La zone grise du diagramme 1.05 page D7.4 définit un domaine dans lequel :

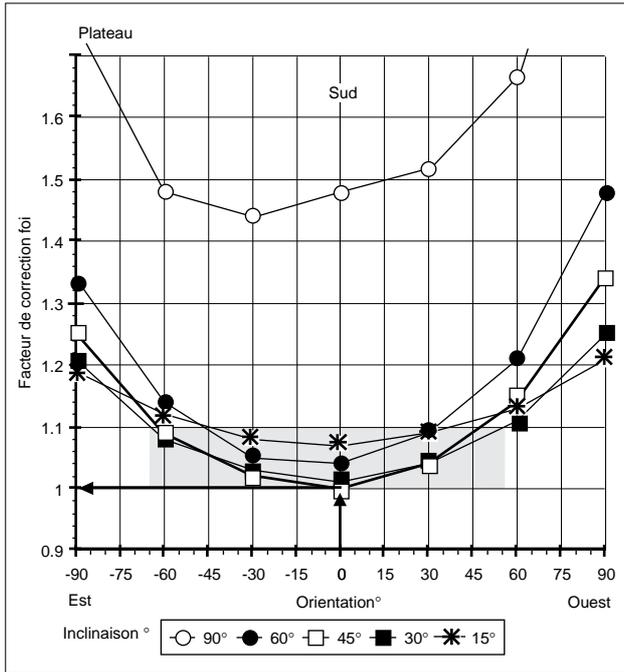
- les caractéristiques de l'installation sont proches de l'optimum;
- les installations ainsi dimensionnées sont correctes tant du point de vue technique qu'économique.

** Un rendement élevé des capteurs augmente l'apport de l'installation solaire. Pour le choix des capteurs il faut également prendre en considération leur coût, leur qualité et leur durée de vie présumée. Les caractéristiques des divers capteurs sont répertoriées dans le classeur «*Performances des capteurs solaires thermiques*» édité par le technicum de Rapperswil (cf. chapitre B. Bases, page B 2.7, paragraphe 2.8)

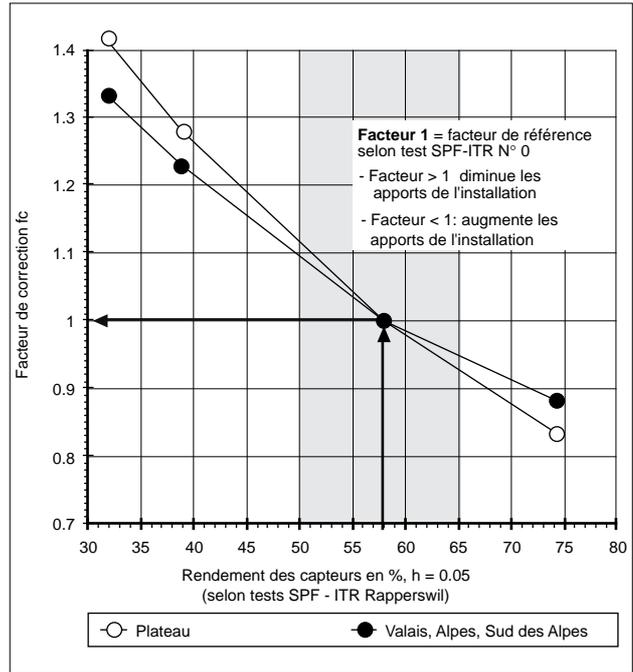
- Méthode pour le dimensionnement de la surface de capteurs solaires



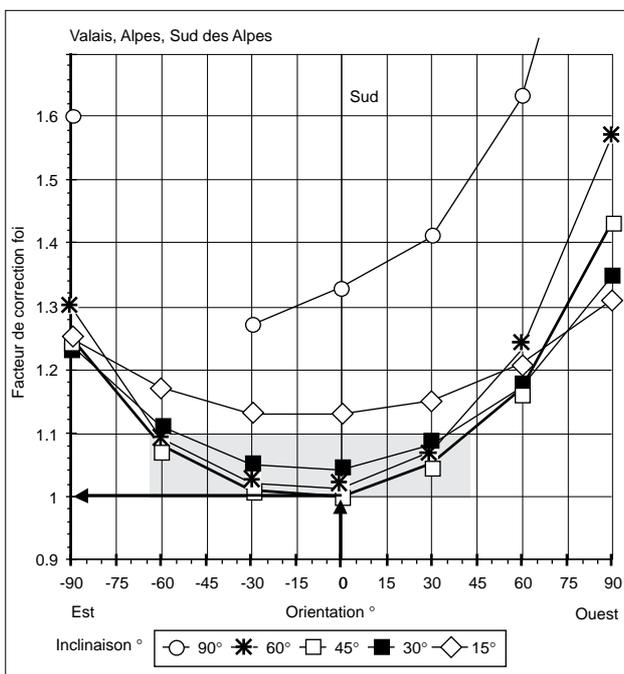
1.02a Facteur de correction pour diverses orientations et inclinaisons des capteurs (foi)



1.03 Facteur de correction pour divers rendements des capteurs (fc)



1.02b Facteur de correction pour diverses orientations et inclinaisons des capteurs (foi)



1.05	Données pour le dimensionnement	Unité	Installation standard	Valeurs recommandées
	Surface relative théorique de capteurs (A_{relT})	m^2 /personne	1.2	1.0 - 1.5

1.05 Surface de captage et taux de couverture solaire par rapport à la consommation d'eau chaude sanitaire

Comment utiliser le diagramme 1.05

Flèche A

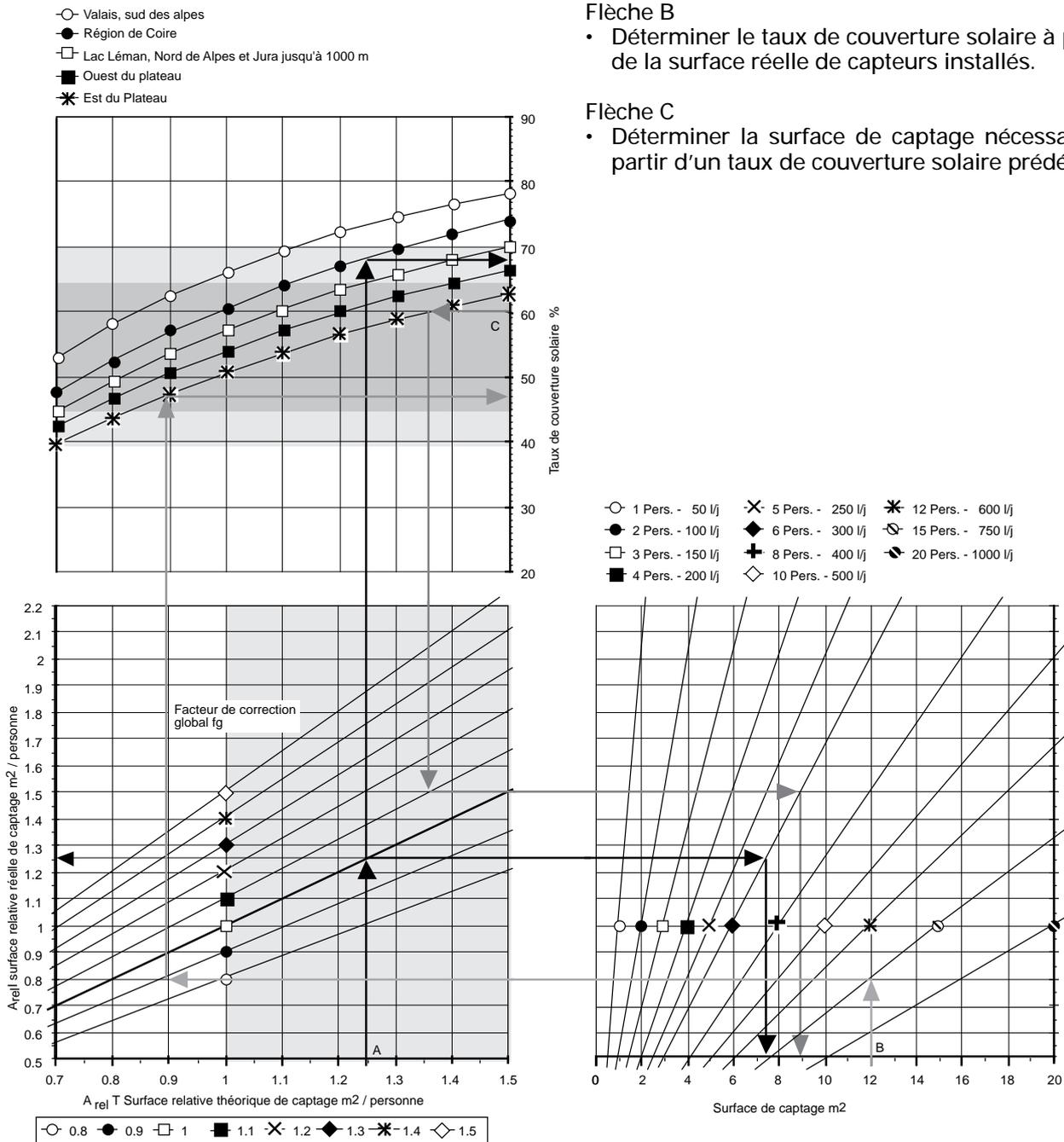
- Déterminer le taux de couverture solaire à partir de la surface relative théorique de capteurs.

Flèche B

- Déterminer le taux de couverture solaire à partir de la surface réelle de capteurs installés.

Flèche C

- Déterminer la surface de captage nécessaire à partir d'un taux de couverture solaire prédéfini.



2 Conduites hydrauliques circuit solaire

2	Données pour le dimensionnement	Unité	Installation standard	Valeurs recommandées
	Débit par m ² de capteur	l/h m ²	40-50	SF
	Proportion d'antigel	%	35-50	SF
	Longueur des conduites	m	20-40	-
	Épaisseur d'isolation	mm	20-40	20-40
	Vitesse d'écoulement	m/s	0.3 - 1	0.3 - 1
	Perte de charge unitaire	mbar/m	-	-
	Perte de charge totale	mbar	100 - 150	< 150

Note: SF = Données selon fournisseur des capteurs solaires

2.1 Tuyauterie

Pour chaque installation standard, le diamètre des conduites a été prédéterminé; ces diamètres sont donnés à la page D6.

Pour un calcul détaillé de ce diamètre on procédera comme suit :

1. Déterminer le débit total du circuit solaire :
débit par m² de capteur (l/h m²) x surface de captage totale (m²)
 =.....X..... =..... l/h

2. Déterminer le diamètre des conduites en tenant compte des valeurs recommandées dans le tableau ci-dessus.

Les tables de pertes de charge se trouvent dans le chapitre H, aux pages H5.4, H5.5 et H5.6.

Type de tube.....
Diamètre.....

2.3 Isolation des conduites

Une épaisseur d'isolation des conduites à l'intérieur du bâtiment de 40 mm à la place de 20 mm augmente les apports solaires en moyenne de 0,2 à 0,4%.

Pour la détermination de l'épaisseur d'isolation il faut encore tenir compte des points suivants :

- le prix de l'isolation ;
- la place à disposition ;
- les règlements en vigueur dans la région.

Une table donnant les pertes de chaleur spécifiques de diverses tuyauteries isolées se trouve dans le chapitre H, aux pages H5.7 et H5.8.

3 Groupe hydraulique circuit solaire

Fonction

Regroupe tous les organes nécessaires au bon fonctionnement de l'installation.

Bases pour le dimensionnement

Le fournisseur des capteurs livre des groupes pré-fabriqués comprenant tous les composants nécessaires.

Pour choisir le bon groupe, il est nécessaire de prendre en compte les points énumérés dans le tableau 3.0.1.

Dimensionnement

Le fournisseur procède au dimensionnement en prenant en compte les points énumérés dans le tableau 3.0.1.

Pour un dimensionnement précis des composants du groupe, consulter les pages D10 à D12.

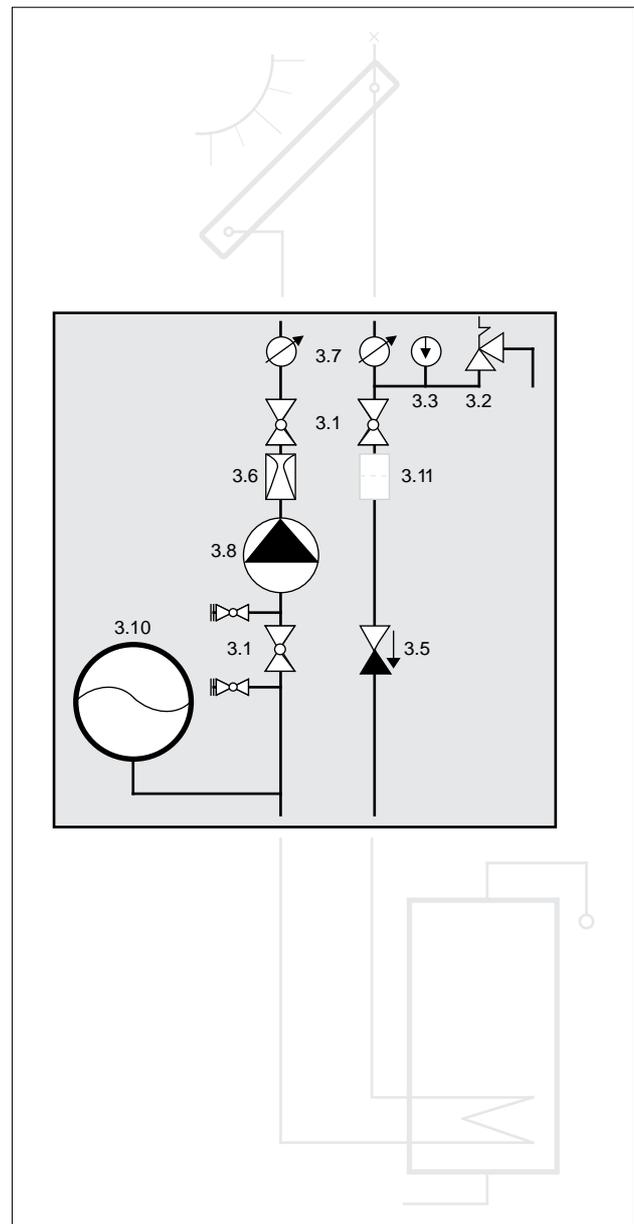


Figure 3.0.1 Composants du groupe hydraulique

- 3.1 Vannes d'arrêt
- 3.2 Soupape de sécurité
- 3.3 Manomètre
- 3.5 Soupape de retenue
- 3.6 Débitmètre
- 3.7 Thermomètre
- 3.8 Circulateur
- 3.10 Vase d'expansion
- 3.11 Filtre éventuel

Points à prendre en compte lors du choix d'un groupe hydraulique

- Marque et type de capteurs	.....
- Nombre de capteurs branchés en parallèle	.....
- Nombre de capteurs branchés en série	.....
- Longueur des conduites circuit solaire (aller + retour)	.....m
- Diamètre des conduites	.....
- Δh = différence de hauteur entre le point le plus haut de l'installation et le vase d'expansion	.....m
- Δvs = différence de hauteur entre le vase d'expansion et la soupape de sécurité	.....m
- Contenance totale du circuit capteur	.....l
- Marque et type de l'échangeur de chaleur solaire	.....

Tableau 3.0.1

3.8 Circulateur

3.8.1	Données pour le dimensionnement	Unité	Installation standard	Valeurs recommandées
	Débit par m ² de capteur	l/h m ²	40-50	SF
	Proportion d'antigel	%	35-50	SF
	Surface de capteurs branchés en série	m ²	SF	SF

Note: SF = Données selon fournisseur de capteurs solaires

- Dimensionnement

- Installation standard

Le circulateur est prédimensionné; vous trouverez ses caractéristiques à la page D6

La pression du circulateur correspond à la perte de charge maximale admissible dans un circuit solaire (cf. tableau 3.8.2)

- Dimensionnement précis

1. Déterminer le débit total du circuit solaire:

débit par m² de capteur (l/h m²) x surface de captage totale (m²)

=.....x..... =..... l/h

2. Déterminer la perte de charge du circuit solaire, selon les instructions données aux points a1 à d4 à la page D10.2 (résumé sur tableau 3.8.3 ci-dessous)

=..... bar =..... mCE

3. Choisir le circulateur sur le catalogue d'un fournisseur

3.8.2 Consommation d'énergie d'un circulateur

Perte de charge du circuit capteurs mbar	Perte de charge du circuit capteurs mCE	Puissance absorbée par le circulateur W
200	2	50
350	3.5	80
500	5	100
700	7	250

Plus la perte de charge du circuit solaire est faible, plus petite est la consommation d'énergie du circulateur.

Remarque :

On pose souvent un circulateur à plusieurs vitesses. On peut alors régler le débit en le contrôlant à l'aide du débitmètre.

3.8.3 Pertes de charge dans le circuit solaire

Composant	Perte de charge unitaire mbar	Nombre ou longueur	Total mbar
a Capteurs solaires (Nombre raccordés en série)			
b Tuyauterie			
c Echangeur de chaleur			
d Composants particuliers			
Perte de charge totale mbar (x 0.01 = mCE)			

Pertes de charge dans le circuit solaire

a. Perte de charge dans les capteurs

- Branchement en série

- Déterminer le débit total dans les capteurs
= *débit total du circuit solaire* = l/h
- Consulter les tables de pertes de charge données par le fournisseur des capteurs. La perte de charge R ...mbar y est déterminée. Attention aux unités utilisées!
- La perte de charge totale des capteurs est la somme de celle des capteurs raccordés en série

= $R \times \text{nombre de capteurs branchés en série}$
= \times = mbar

- Branchement en parallèle

- Déterminer le débit total par capteur
= *débit total l/h/nombre de capteurs*
= / = l/h capteur
- Consulter les tables de pertes de charge données par le fournisseur des capteurs. La perte de charge Rmbar y est déterminée. Attention aux unités utilisées!
- La perte de charge totale des capteurs est égale à celle de chaque capteur raccordé en parallèle
= mbar

b. Perte de charge des conduites et de la robinetterie

- Déterminer la longueur des conduites du circuit solaire (aller + retour)
 L_c = m
- Déterminer la longueur équivalente pour les coudes, la robinetterie, etc, selon la table correspondante au chapitre H, pages H5.4. Estimation: L_e = 50% de L_c .
 L_e = m
- Calculer la longueur totale
 $L_c + L_e = L_t$ = m

- Calculer le débit total dans le circuit solaire (en général 30 à 50 l/h m² capteur, selon donnée fournisseur capteur)
= *surface de capteurs m² x l/h m²* = l/h

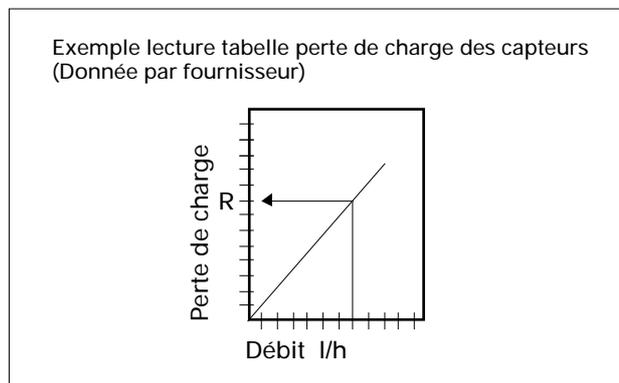
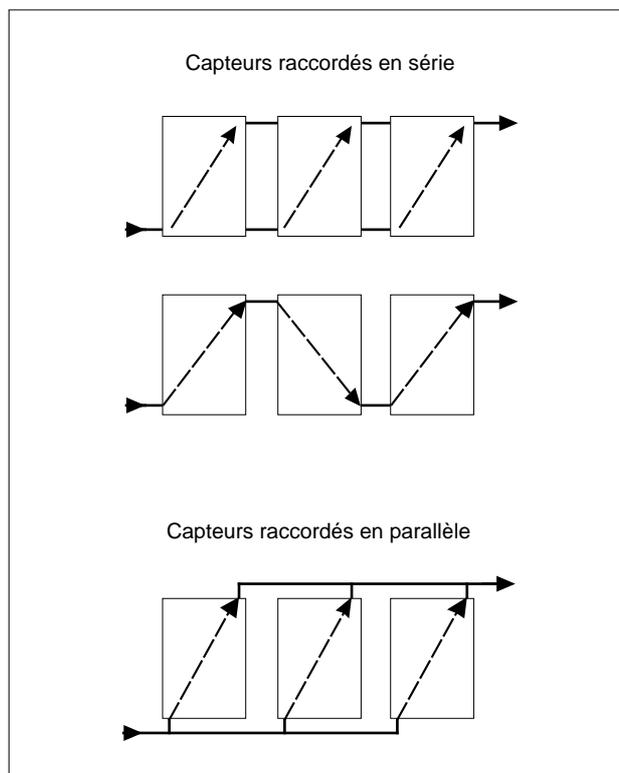
- Rechercher la perte de charge par m de conduite selon la table correspondante au chapitre H, pages H5.5 et H5.6
 R = mbar/m

- Calculer la perte de charge totale de la tuyauterie:
 $L_t \times R$ = \times = mbar

c. Perte de charge de l'échangeur solaire

- Consulter la table de perte de charge fournie par le fabricant de l'échangeur. S'il n'existe pas de table pour un fluide caloporteur avec anti-gel, utiliser la table donnée pour l'eau et majorer la perte de charge donnée de 30%.

Perte de charge de l'échangeur
= R = mbar



3.10 Vase d'expansion

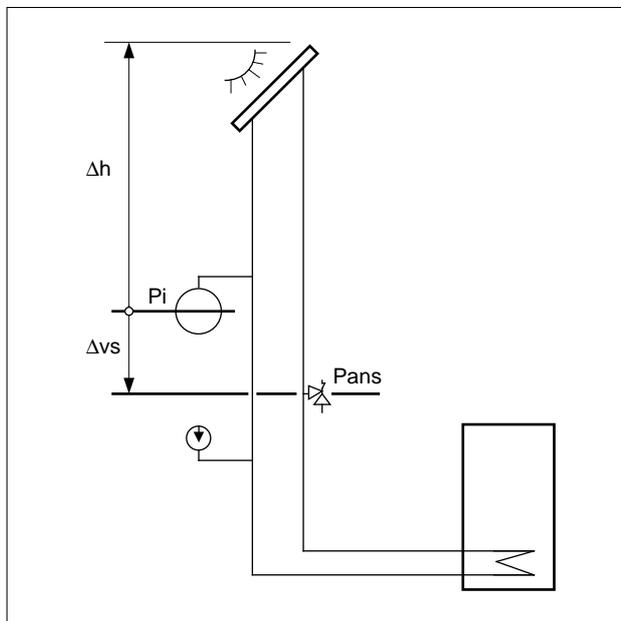
3.10.1 Données pour le dimensionnement	Unité	Installation standard	Valeurs recommandées
Δh = Différence de hauteur entre le point le plus haut de l'installation et le vase	m	< 10	-
Δv_s = Différence de hauteur entre le vase et la soupape	m	1 à -1	-
Méthode de calcul	méthode	B	B ou C, SF
Proportion d'antigel	%	35-50	SF

Note: SF = Données selon fournisseur des capteurs solaires

Légende

- Δh = Différence de hauteur entre le haut de l'installation et le vase d'expansionm
- Δv_s = Différence de hauteur entre le vase d'expansion et la soupape de sécuritém
- Pans = Pression nominale de la soupape de sécurité. Cette donnée est calculée selon les indications de la page D12. C'est la pression d'ouverture de la soupape de sécuritébar
- P_i = Pression initiale de gonflage dans le vase d'expansion = $(\Delta h/10) + 0.3$ bar = $(...../10) + 0.3 =bar$

- Dimensionnement
- 1. Choisir la méthode de dimensionnement du vase A, B ou C
- 2. Déterminer la pression d'ouverture Pans de la soupape de sécurité selon les indications de la page D12 bar
- 3. Calculer le volume de référence pour l'expansion selon le tableau 5.1.2, à la page D15.1
- 4. Calculer le volume d'expansion nécessaire sur le tableau 3.10.2 p. D11.2
- 5. Calculer la différence de hauteur entre le point le plus haut de l'installation et le vase d'expansionm
- 6. Choisir le vase d'expansion à l'aide du tableau «Volume utile d'un vase d'expansion» au chap. H, p. H5.10.....



Choix de la méthode de calcul (A, B ou C)	
Protection de l'installation:	Méthode:
- Expansion en fonctionnement normal	A - B - C
- Pression de remplissage trop élevée	A - B - C
- Bref arrêt du circuit solaire (inférieur à une heure)	A - B - C
- Arrêt prolongé du circulateur (plusieurs heures)	B - C

Méthodes A et B : 35 à 50 % d'antigel
 Méthode C: 90% d'antigel

3.10.2 Volume utile nécessaire du vase d'expansion

Méthode	Pression finale admissible* Pfa bar	Proportion d'antigel %	Volume de référence litres	Pourcentage d'expansion %	Volume d'expansion litres
A	2.3*	35-50	Volume total du circuit solaire	10	.....
B	2.9*	35-50	Volume du circuit solaire sans les capteurs	10	.....
			Volume des capteurs	100	.....
			TOTAL		.....
C	3.9**	90	Volume total du circuit solaire	15	.....

* Valeurs calculées et indiquées pour une soupape de 3 bar

** Valeurs calculées et indiquées pour une soupape de 4 bar

Si une autre pression nominale de soupape Pans est prévue, calculer la pression finale admissible selon les indications ci-dessous:

$$\begin{aligned} \text{Méthode A: } Pfa &= (Pans \times 0.8) - 0.1 - (\Delta vs/10) \\ &= (\dots\dots\dots \times \dots\dots\dots) - 0.1 - (\dots\dots/10) \\ &= \dots\dots\dots \text{bar} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Méthode B: } Pfa &= Pans - 0.1 - (\Delta vs/10) \\ &= \dots\dots\dots - 0.1 - (\dots\dots/10) \\ &= \dots\dots\dots \text{bar} \end{aligned}$$

Rappel

Pfa: Pression finale admissible dans le vase et dans l'installation à chaud.

Pans: Pression nominale de la soupape de sécurité = pression d'ouverture.
Pans est calculé selon les indications de la page D12

Δvs : Différence de hauteur entre le vase et la soupape:

- si le vase est plus haut que la soupape Δvs est positif
- si le vase est plus bas que la soupape Δvs est négatif.

3.2 Soupape de sécurité

3.3 Manomètre

3.2.1	Données pour le dimensionnement	Unité	Installation standard	Valeurs recommandées
Δcs		m	5-8	-
Pc		bar	>2.5	SF
Pans		bar	3	-
Δsm		m	1 à-1	-
Echelle du manomètre		bar	0-4 bar	Pans x 1.2

Légende

- Δh = Différence de hauteur entre le haut de l'installation et le vase d'expansionm
- Δcs = Différence de hauteur entre le bas des capteurs et la soupape de sécuritém
- Δse = Différence de hauteur entre la soupape de sécurité et un élément du circuit solaire. Δse varie en fonction de l'emplacement de l'élément de référencem
- Δsm = Différence de hauteur entre le manomètre et la soupape de sécuritém
- Δvs = Différence de hauteur entre le vase d'expansion et la soupape de sécuritém
- Pans = Pression nominale de la soupape de sécurité. Cette donnée se trouve dans le catalogue du fournisseur de la soupape. C'est la pression d'ouverture de la soupape de sécuritébar
- Pc = Pression maximale dans les capteurs autorisée par le fournisseur. Cette donnée se trouve dans le catalogue du fournisseur des capteurs.....bar

• Dimensionnement de la soupape de sécurité

Il est judicieux de choisir une soupape de sécurité avec une pression nominale Pans la plus élevée possible. Cela permet en effet de pouvoir utiliser un modèle de vase d'une capacité réduite.

$$Pans_{maxi} = (\Delta cs/10) + Pc - 0.1$$

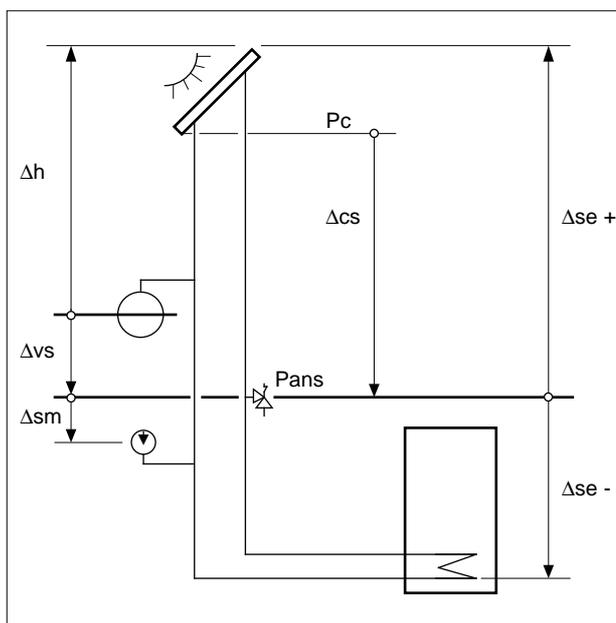
$$=/10) + - 0.1 = bar$$

Dans la pratique on choisira une soupape standard du commerce à la valeur Pans immédiatement inférieure à la valeur calculée. Il est également possible d'installer une soupape spécialement tarée à Pans maxi.

Avant d'effectuer le choix définitif de la soupape il est encore nécessaire de prendre les précautions suivantes :

1. La pression de service du vase d'expansion autorisée par le constructeur doit être supérieure à la pression Pans de la soupape de sécurité.
2. Les composants du circuit solaire doivent résister à une pression de :
 $Pans + (+ - \Delta se/10) = + (...../10) = bar$

S'il n'est pas possible d'installer un vase ou des composants résistants à la valeur Pans prédéfini de la soupape, il faut choisir une soupape avec une



valeur Pans plus basse. On veillera toutefois à choisir la soupape dans les limites d'utilisation indiquées ci-dessous :

Méthode de calcul du vase bar	Pans soupape bar	Utilisable pour un Δh maximum de m
A	2,5	13 - Δvs =
A	3	17 - Δvs =
A	4	25 - Δvs =
B	2,5	18 - Δvs =
B	3	23 - Δvs =
B	4	30 - Δvs =

• Dimensionnement du manomètre

Le manomètre doit avoir une échelle d'indication de la pression dont le maximum est au moins égal à :
 $(Pans \times 1.2) + (\Delta sm/10) = (..... \times 1.2) + (...../10)$
 $= bar$

4 Chauffe-eau sanitaire

4.1.1 Données pour le dimensionnement	Unité	Installation standard	Valeurs recommandées
VT = Volume total par personne	l/personne	70-100	85

- Dimensionnement

Installation standard

Le chauffe-eau est prédimensionné ; vous trouverez ses caractéristiques à la page D6

Dimensionnement précis

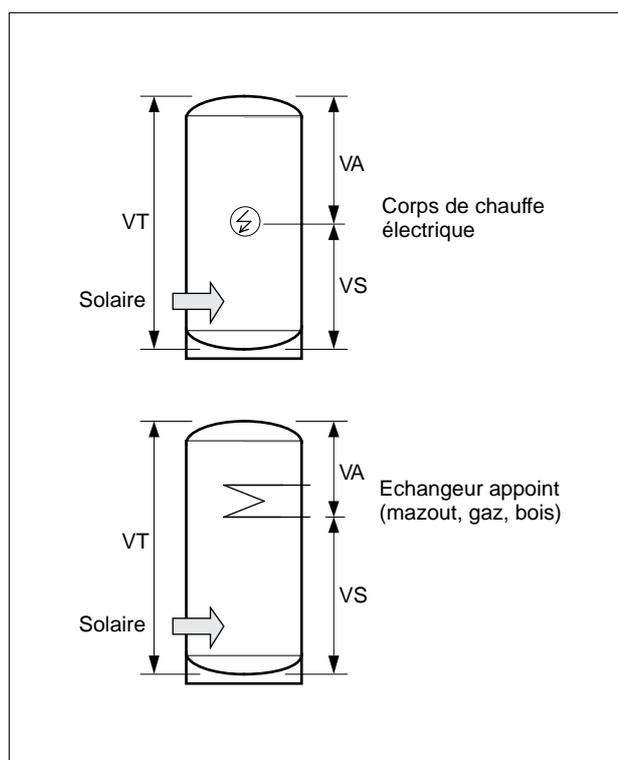
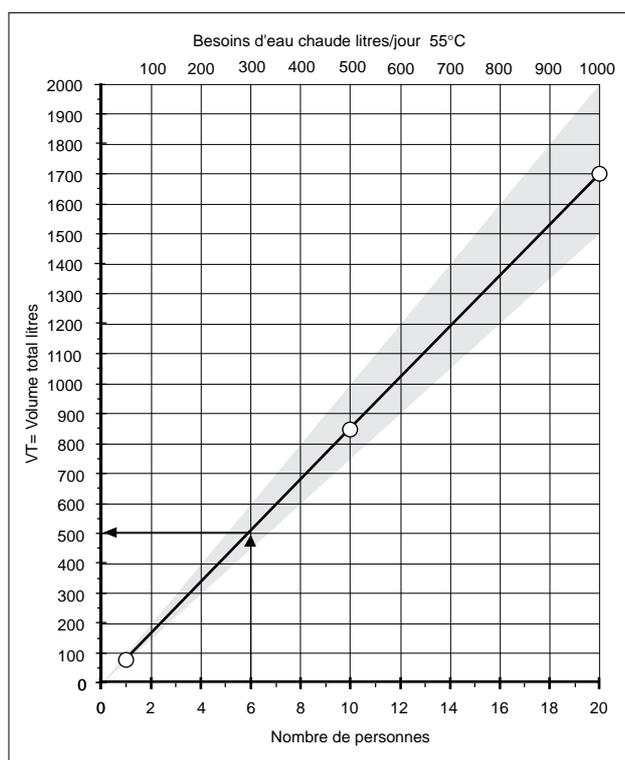
Utiliser le diagramme 4.1.2 et tenir compte du volume total VT

VT = volume total

VS = volume de préchauffage solaire

VA = volume d'appoint

4.1.2 Volume total VT du chauffe-eau



4.2 Echangeur de chaleur immergé

4.2.1	Données pour le dimensionnement	Unité	Installation standard	Valeurs recommandées
	$\Delta T_m = (T_{1m} - T_{2m})$	K	5-15	10
	Surface/m ² de capteur	m ² /m ²	0.2 - 0.25	0.2

Informations utiles au dimensionnement

Le tableau 4.2.2 montre les différences d'efficacité d'une installation solaire en fonction de la différence de température ΔT_m :

- Une faible différence de température améliore l'efficacité de l'installation.
- Une grande différence de température diminue cette efficacité.

T1m = température moyenne des capteurs (circuit primaire).

T2m = température moyenne du chauffe-eau à proximité immédiate de l'échangeur (circuit secondaire).

ΔT_m = écart entre T1m et T2m.

4.2.2 Influence du choix du ΔT_m de l'échangeur sur l'efficacité de l'installation						
$\Delta T_m (T_{1m}-T_{2m})$	K	5	10	15	20	25
Variation de l'efficacité de l'installation solaire	%	3.5	0	-3.5	-7	-10

• Dimensionnement

- Installation standard
La surface est prédimensionnée; vous trouverez ses caractéristiques à la page D6.
- Dimensionnement précis
A l'aide des diagrammes 4.2.3 ou 4.2.4 à la page D14.2.

L'efficacité d'un échangeur dépend de multiples facteurs et l'installateur ne pourra que difficilement l'estimer. Pour cette raison, le type d'échangeur et ses caractéristiques sont normalement calculés par le fournisseur.

Quelques règles générales

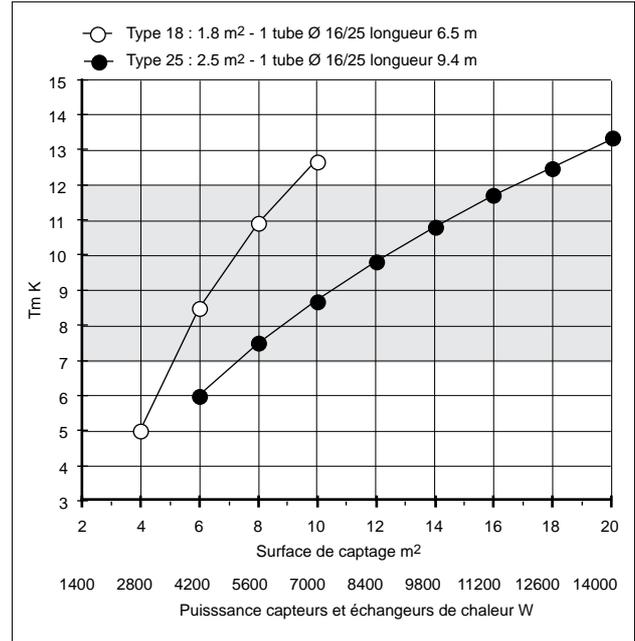
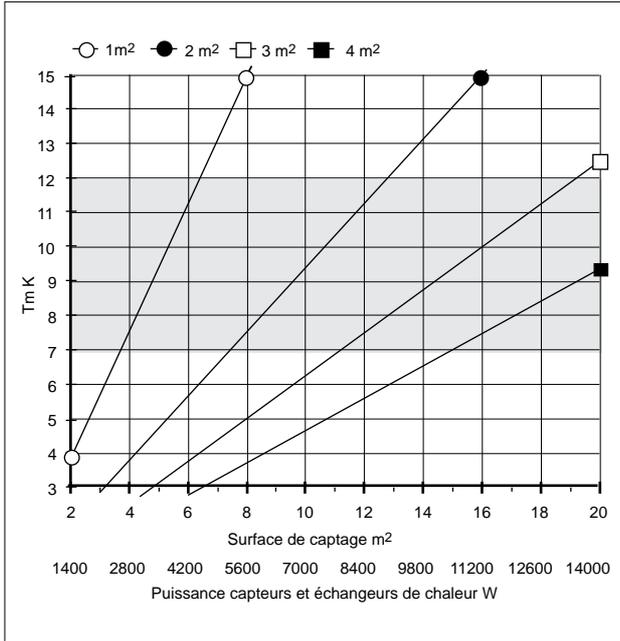
- On obtient un bon rendement de l'échangeur si la vitesse d'écoulement à l'intérieur des tubes est de l'ordre de 0.5 à 1.5 m/s.
- Echangeurs à tubes lisses : le coefficient de transfert thermique est compris entre 400 et 750 W/m²K. Dimensionner un tel échangeur à l'aide du diagramme 4.2.3, page D14.2.
- Echangeurs à tubes ailettes : le coefficient de transfert thermique est compris entre 300 et 500 W/m²K. Dimensionner un tel échangeur à l'aide du diagramme 4.2.4, page D14.2.

Plusieurs fournisseurs utilisent les mêmes modèles d'échangeurs à tubes ailettes. Aussi le diagramme 4.2.4 donne directement le type d'échangeur en fonction de la différence moyenne de température ΔT_m .

4.2.3 Choix d'un échangeur à tubes lisses

4.2.4 Choix d'un échangeur à tubes ailettés

Tableau établi avec un coefficient de transfert thermique de 400 W/m² de surface d'échange



Information pour tableaux 4.2.3 et 4.2.4

ΔT_m (K) = Ecart de température entre T1m et T2m (voir page D14.1).

Liquide caloporteur:
Proportion de 35 à 50% de glycol additionné d'eau.

5 Liquide caloporteur

5.1.1	Données pour le dimensionnement	Unité	Installation standard	Valeurs recommandées
	Contenance des capteurs	l/m ²	< 2.3	SF
	Longueur des conduites	m	20-40	-
	Proportion d'antigel	%	35-50	SF

Note: SF = Données selon fournisseur des capteurs solaires

- Dimensionnement
- Installation standard
Le contenu du circuit solaire est prédimensionné ; vous trouverez ces caractéristiques à la page D6.
- Dimensionnement précis
 1. Déterminer le contenu de chaque élément de l'installation à l'aide du tableau 5.1.2, points a à d.
 2. Effectuer le total intermédiaire I.
 3. Effectuer le total intermédiaire II.
 4. Déterminer le vase d'expansion, selon la méthode décrite à la page D11, sur la base du total II.
 5. Déterminer le contenu initial du vase, après son remplissage à froid, selon le tableau 5.1.3 et le reporter sur le tableau 5.1.2 en e.
 6. Effectuer le total général III.

5.1.2 Contenu du circuit solaire

No	Composant	Contenu unitaire litres	Unités	Nombre	Contenu total par composant litres
a1	Tuyauterie Ø		m		
a2	Tuyauterie Ø		m		
a3	Tuyauterie Ø		m		
b	Echangeur solaire		pce	1	
c	Eléments particuliers				
I	Volume du circuit solaire sans les capteurs				
d	Capteurs solaires		pce		
II	Volume total du circuit solaire sans le vase d'expansion				
e	Contenu initial du vase après remplissage à froid (tableau 5.1.3)		pce	1	
III	Volume total du circuit solaire y compris le vase d'expansion				

5.1.3 Contenu initial en liquide d'un vase d'expansion, après remplissage à froid de l'installation

Type de vase et contenu initial en litres																
Δh -m	Pi-bar	12	18	25	35	50	80	110	140	200	300	400	500	600	750	900
1	0.4	1.5	2.4	3.3	4.6	5.9	9.8	13.8	18.6	27.8	38.3	48.8	62.5	75.1	91.1	109.4
2	0.5	1.4	2.3	3.1	4.3	5.5	9.2	12.9	17.5	26.1	36.1	45.9	58.8	70.7	85.7	102.9
3	0.6	1.3	2.1	2.9	4.1	5.2	8.7	12.2	16.5	24.7	34.1	43.4	55.6	66.7	81.0	97.2
4	0.7	1.3	2.0	2.7	3.9	4.9	8.2	11.6	15.7	23.4	32.3	41.1	52.6	63.2	76.7	92.1
5	0.8	1.2	1.9	2.6	3.7	4.7	7.8	11.0	14.9	22.2	30.7	39.0	50.0	60.1	72.9	87.5
6	0.9	1.1	1.8	2.5	3.5	4.5	7.5	10.5	14.2	21.1	29.2	37.2	47.6	57.2	69.4	83.3
7	1.0	1.1	1.7	2.4	3.4	4.3	7.1	10.0	13.5	20.2	27.9	35.5	45.5	54.6	66.2	79.5
8	1.1	1.0	1.7	2.3	3.2	4.1	6.8	9.6	12.9	19.3	26.7	33.9	43.5	52.2	63.4	76.1
9	1.2	1.0	1.6	2.2	3.1	3.9	6.5	9.2	12.4	18.5	25.6	32.5	41.7	50.1	60.7	72.9
10	1.3	1.0	1.5	2.1	3.0	3.8	6.3	8.8	11.9	17.8	24.5	31.2	40.0	48.1	58.3	70.0
11	1.4	0.9	1.5	2.0	2.8	3.6	6.0	8.5	11.4	17.1	23.6	30.0	38.5	46.2	56.0	67.3
12	1.5	0.9	1.4	1.9	2.7	3.5	5.8	8.1	11.0	16.4	22.7	28.9	37.0	44.5	54.0	64.8
13	1.6	0.9	1.4	1.9	2.6	3.4	5.6	7.9	10.6	15.9	21.9	27.9	35.7	42.9	52.0	62.5
14	1.7	0.8	1.3	1.8	2.5	3.2	5.4	7.6	10.3	15.3	21.1	26.9	34.5	41.4	50.2	60.3
15	1.8	0.8	1.3	1.7	2.5	3.1	5.2	7.3	9.9	14.8	20.4	26.0	33.3	40.0	48.6	58.3
16	1.9	0.8	1.2	1.7	2.4	3.0	5.1	7.1	9.6	14.3	19.8	25.2	32.3	38.8	47.0	56.5
17	2.0	0.8	1.2	1.6	2.3	2.9	4.9	6.9	9.3	13.9	19.2	24.4	31.3	37.5	45.5	54.7
18	2.1	0.7	1.2	1.6	2.2	2.8	4.7	6.7	9.0	13.5	18.6	23.7	30.3	36.4	44.2	53.0
19	2.2	0.7	1.1	1.5	2.2	2.8	4.6	6.5	8.8	13.1	18.0	23.0	29.4	35.3	42.9	51.5

Δh = Différence de hauteur entre le haut de l'installation et le vase d'expansion [m]

Pi = Pression initiale de gonflage dans le vase d'expansion [bar]

Récapitulation des données techniques

Page	Données		Unité	Valeur
	Besoins en eau chaude sanitaire			
	Nombre d'utilisateurs		p (personnes)	
	Consommation journalière à 55°C		l/j	
D7	1 Capteurs solaires			
	Marque			
	Type			
	Surface utile par capteur		m ²	
	Nombre de capteurs		pce	
	Surface utile totale		m ²	
	Surface relative théorique	AreIT	m ² /p	
	Orientation		°	
	Inclinaison		°	
	Facteur de correction pour l'orientation et l'inclinaison	Foi		
	Rendement des capteurs pour n = 0.05		%	
	Facteur de correction pour capteur	Fc		
	Facteur de correction global	Fg		
	Taux de couverture solaire		%	
D8	2 Conduites hydrauliques			
	Matériau			
	Longueur (aller + retour)		m	
	Débit par m ² de capteur		l/h	
	Débit total du circuit solaire		l/h	
	Proportion d'antigel		%	
	Diamètre			
D10	3.8 Circulateur			
	Débit total du circuit solaire		l/h	
	Perte de charge du circuit solaire		mbar	
	Perte de charge du circuit solaire		mCE	
	Marque			
	Type			
	Puissance absorbée		W	

Récapitulation des données techniques (suite)

Page	Données		Unité	Valeur
D11	3.10 Vase d'expansion			
	Différence de hauteur capteurs/vase	Δh	m	
	Pression initiale du vase	Pi	bar	
	Méthode de calcul (A, B ou C)			
	Volume d'expansion			
	Type			
D12	3.2 Soupape de sécurité			
	Pression nominale		bar	
	3.3 Manomètre			
	Echelle		bar	
D13	4 Chauffe-eau sanitaire			
	Volume total	VT	l	
	Volume par personne		l/p	
	Volume par m ² de capteurs		l/m ²	
D14	4.2 Echangeur de chaleur solaire			
	Type			
	ΔT_m (T1m - T2m)		K	
	Surface par m ² de capteur		m ² /m ²	
D15	5 Liquide caloporteur			
	Type			
	Proportion d'antigel		%	
	Protection contre le gel		°C	
	Contenu de l'installation		l	

Exemple d'offre

Référence:	N° offre.....	Date.....
Système:		

Description	Unité	Nombre	Prix	Total
Capteurs solaires Capteurs solaires marque type..... Surface utile m ² /capteur, soit au total..... m ² Test IT Rapperswil N° Rendement $\eta = 0.05$% Composition du capteur: - Cadre - Isolation thermique - Couverture transparente - Absorbeur - Revêtement de l'absorbeur Fixations et raccords	pièce	.....	.....	.....
Chauffe-eau sanitaire Chauffe-eau marque.....type.....volume total VT...litres - Revêtement intérieur..... - Isolation thermique..... - Echangeur de chaleur solaire, type surface d'échange m ² - Echangeur de chaleur d'appoint, type surface d'échange m ² puissance kW pour des températures aller/retour de ...../.....°C - Corps de chauffe électrique type puissance kW réchauffement de litres en heures	pièce	.....	.....	.....
Groupe hydraulique Groupe hydraulique compact, Ø..... 2 thermomètres, 1 soupape de sécurité avec manomètre 2 vannes d'arrêt, 2 robinets de vidange et remplissage 1 clapet de retenue - Circulateur marque type..... - Vase d'expansion marque type.....	pièce	.....	.....	.....
Régulation Régulateur par températures différentielles marque.....type..... y c. sonde capteurs et sonde plongeante pour le chauffe-eau	pièce	.....	.....	.....
Liquide caloporteur Type Proportion.....% Protection contre le gel.....°C Contenu du circuit solaire..... litres	litres	.....	.....	.....

Exemple d'offre (suite)

Référence:	N° offre.....	Date.....
Système:		

Description	Unité	Nombre	Prix	Total
Conduites hydrauliques Conduites entre les capteurs et le chauffe-eau - longueur.....m - conduites en.....diamètre..... - isolation en.....épaisseur.....mm	unit	.....	.....	.....
Transport et montage - Montage des capteurs solaires - Pose des appareils en chaufferie - Pose des conduites isolées - Rinçage, remplissage et purge de l'installation - Travail technique: - schémas hydraulique et électrique - mise en service et instructions de service	unit	.....	.....	.....

Montant total de l'offre Fr.

Taux de couverture solaire prévisible
 - Taux de couverture de la production d'eau chaude.....%

Travaux non compris:
 - Raccordements sanitaires
 - Raccordements électriques
 - Engin pour la montée des matériaux sur la toiture
 - Ferblanterie
 - Si nécessaire, protections selon prescriptions CNA

Annexé à cette offre:
 - Documentation
 - Schéma hydraulique
 -

E Production d'eau chaude sanitaire pour immeubles locatifs

Schéma de l'installation standard	E1	98
Table des matières	E2	99

Schéma de l'installation de base

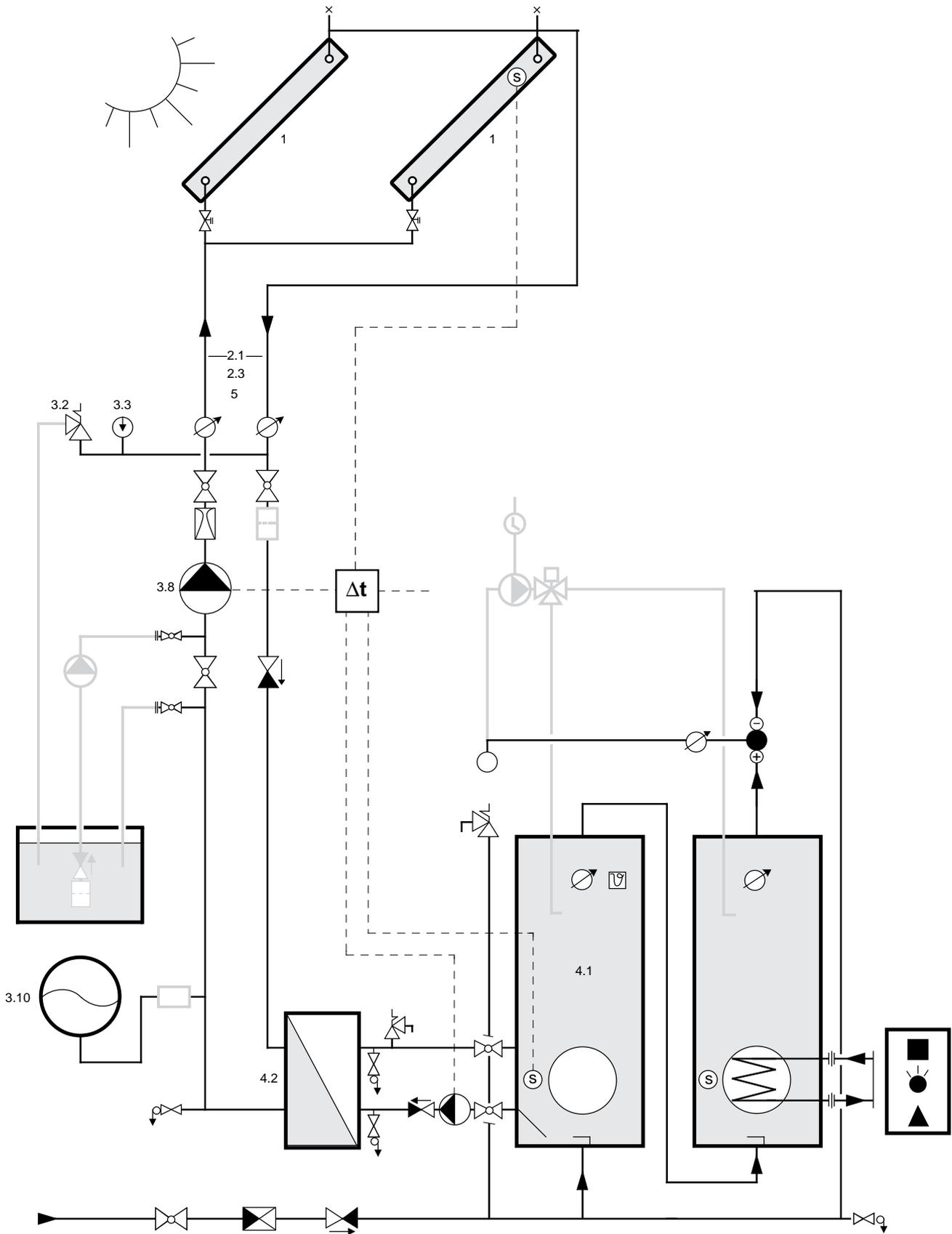


Table des matières

Le but du chapitre E est de présenter une méthode permettant de dimensionner les composants d'une installation solaire de production d'eau chaude sanitaire, de manière simplifiée ou de manière détaillée.

La fourchette de dimensionnement est valable pour des besoins en eau chaude équivalents à 20 à 120 personnes consommatrices, avec des indications jusqu'à 200 personnes.

La méthode donnée peut également servir pour d'autres types de bâtiments ayant des besoins en eau chaude sanitaire compris entre 1000 et 6000 litres par jour, avec des indications jusqu'à 10000 litres par jour.

		Page
Schéma de l'installation standard	E1	98
Critères économiques	E2	100
Variantes et compléments au schéma de base	E3	101
Procédure pour le dimensionnement d'une installation	E4	103
Définition de l'installation standard	E5	104
Installations standard prédimensionnées	E6	105
Dimensionnement précis des composants :		
1 Capteurs solaires	E7	106
2 Conduites hydrauliques circuit solaire	E8	110
2.1 Tuyauterie	E8	110
2.3 Isolation des conduites	E8	110
3 Groupe hydraulique circuit solaire	E9	111
3.8 Circulateur	E10	112
3.10 Vase d'expansion	E11	114
3.2 Soupape de sécurité	E12	116
3.3 Manomètre	E12	116
4 Chauffe-eau sanitaire	E13	117
4.1 Chauffe-eau	E13	117
4.2 Echangeur de chaleur solaire	E14	119
5 Liquide caloporteur	E15	121
Récapitulation des données techniques	E16	123
Exemple d'offre	E17	125

Critères économiques

Le critère de la rentabilité économique joue un grand rôle pour ce type d'installations :

- Il s'agit pour l'instant de la seule application de l'énergie solaire active qui puisse être économiquement rentable sous certaines conditions, ce qui implique en particulier le respect d'un certain nombre de règles de dimensionnement.
- Les clients potentiels pour de telles installations sont de gros propriétaires immobiliers ou des communautés publiques. Ces investisseurs sont souvent moins sensibles aux arguments qui décident un privé à réaliser une installation, arguments tels que l'autonomie énergétique de la Suisse, les économies d'énergie, la protection de l'environnement. Par contre, les critères financiers jouent un rôle important dans leurs décisions.

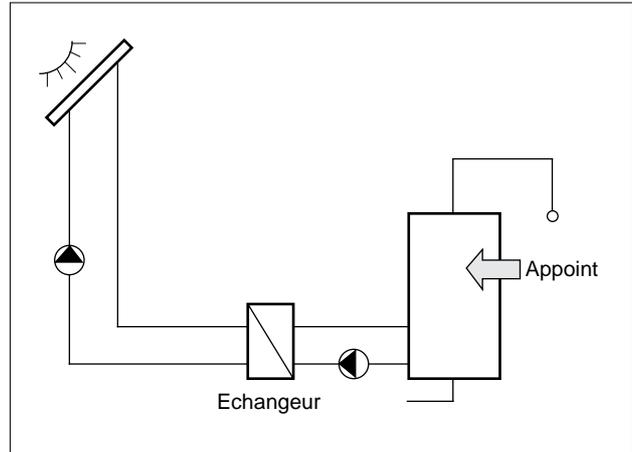
Facteurs influençant la rentabilité d'une installation solaire :

- investissement nécessaire:
 - le prix de l'installation – les subventions ;
- durée de fonctionnement des composants de l'installation ;
- taux d'intérêt ;
- frais d'exploitation ;
- coût de l'énergie d'appoint ;
- apport solaire.

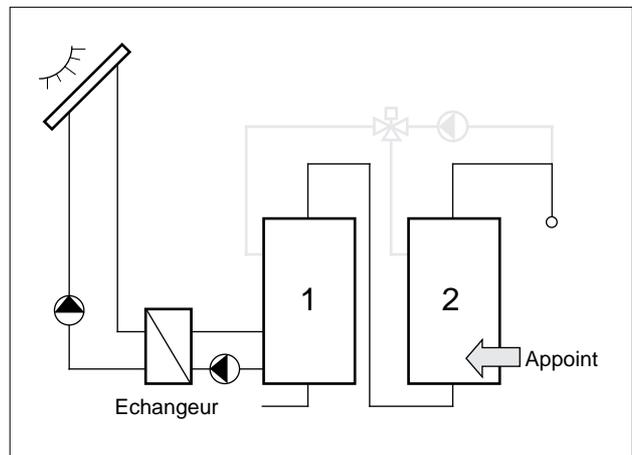
Un calcul économique n'est pas demandé à l'installateur. Dans ce chapitre nous nous efforcerons simplement de dimensionner l'installation de manière optimale.

Variantes et compléments au schéma de base

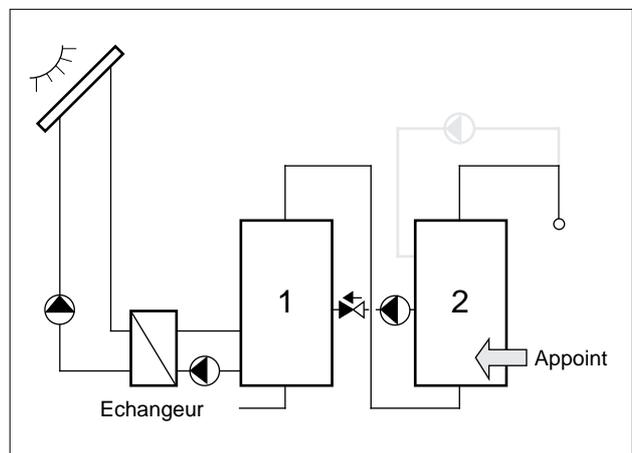
- Schéma de base du circuit solaire
On utilise normalement un échangeur externe pour les installations d'une certaine taille, à partir d'environ 30 à 40 m² de capteurs. Une pompe de charge placée sur le circuit secondaire d'eau sanitaire assure la circulation entre l'accumulateur et l'échangeur externe.
- Installation avec un seul chauffe-eau
L'appoint est connecté au haut du chauffe-eau, aussi bien dans le cas d'un échangeur immergé que dans celui d'un circuit de charge raccordé à un échangeur externe.



- Installation avec deux chauffe-eau
 - Les chauffe-eau sont connectés en série, l'appoint charge le chauffe-eau (2).
 - La vanne 3 voies permet de diriger le retour de la circulation vers l'un ou l'autre des chauffe-eau :
 - vers le chauffe-eau solaire (1) si ce dernier est à plus de 60 °C.
 - vers le chauffe-eau d'appoint (2) si la température du chauffe-eau solaire est inférieure à 60 °C.



- Variante de l'installation avec deux chauffe-eau
 - Les chauffe-eau sont connectés en série, l'appoint charge le chauffe-eau (2).
 - La circulation est raccordée au chauffe-eau d'appoint.
 - Si la température du chauffe-eau solaire (1) est supérieure à celle du chauffe-eau d'appoint (2), sa chaleur en surplus est transportée par un circulateur vers le chauffe-eau d'appoint.



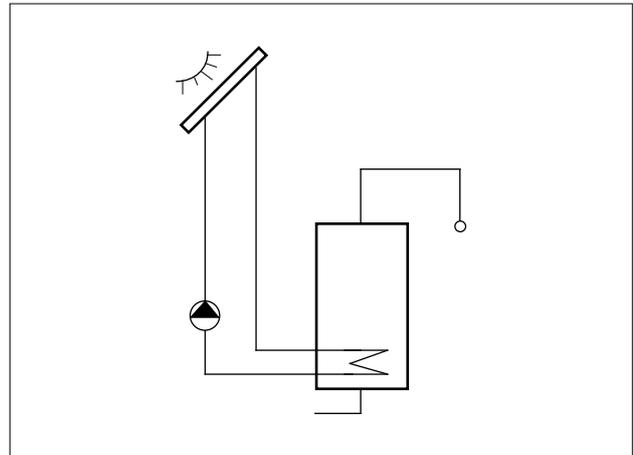
- Installation avec un échangeur immergé
Ce type d'échangeur peut également être utilisé pour une installation de grande taille.

Le choix d'un échangeur immergé ou d'un échangeur externe dépend, pour une même puissance d'échange, de :

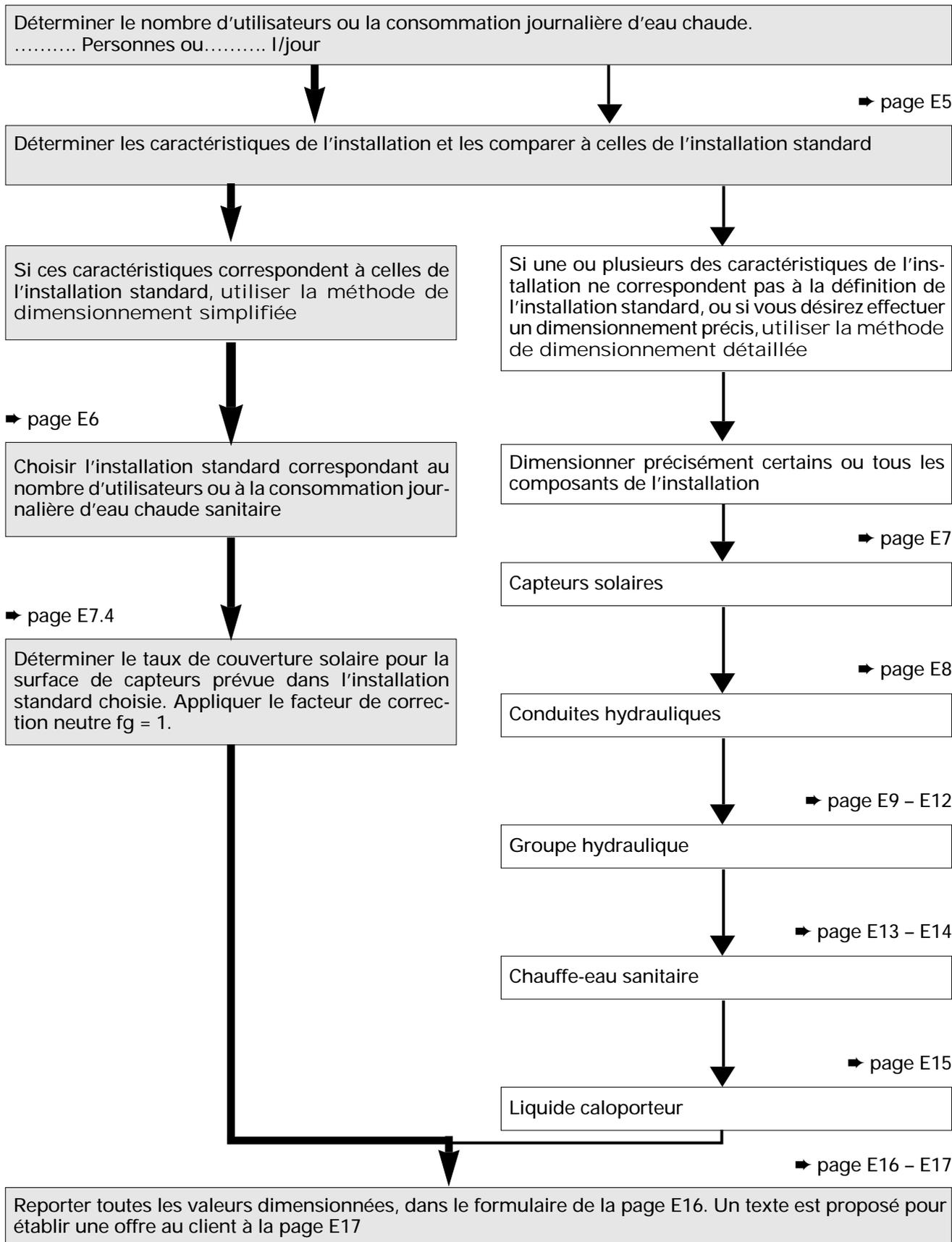
- leurs coûts respectifs ;
- l'entretien nécessaire (détartrage).

En fonction de ces critères, la limite d'utilisation des échangeurs immergés se situe en général à 30 – 40 m² de capteurs.

La manière de dimensionner un échangeur immergé est donnée au chapitre D, à la page D14.



Procédure à suivre pour le dimensionnement d'une installation



Définition de l'installation standard

Page	Données pour le dimensionnement	Unité	Installation standard	Valeurs recommandées
E7	1 Capteurs solaires Consommation d'eau chaude par personne et par jour Inclinaison des capteurs - Plateau - Valais, Alpes, sud des Alpes Orientation des capteurs Rendement des capteurs $\eta = 0.05$ Surface relative de capteurs ($A_{rel}T$)	l/j p à 55°C ° (degrés) ° (degrés) ° (degrés) % m^2 /personne	50 15-60 25-60 -45 est à +45 ouest 50-65 0.5-1.0	- 30-45 45-60 -30 est à +30 ouest - 0.8
E8	2 Conduites hydrauliques Débit par m^2 de capteur Proportion d'antigel Longueur des conduites Epaisseur d'isolation	l/h m^2 % m mm	40-50 35-50 40-60 30-50	SF SF - 30-50
E9 E10	3 Groupe hydraulique Circulateur - débit par m^2 de capteur - proportion d'antigel - surface de capteurs branchés en série	l/h m^2 % m^2	40-50 35-50 SF	SF SF SF
E11	Vase d'expansion - Δh = différence de hauteur entre le point le plus haut de l'installation et le vase d'expansion - Δvs = différence de hauteur entre le vase et la soupape - méthode de calcul	m m méthode	< 10 1 à -1 B	- - Bon C, SF
E12	Soupape de sécurité - Pans = pression nominale - Pc = pression de service autorisée dans les capteurs	bar bar	3 >2.5	- SF
E13 E13	4 Chauffe-eau sanitaire Chauffe-eau - VS = volume solaire par m^2 de capteurs - VA = volume d'appoint - VT = volume total	l/m^2 l /personne l	30-60 - VS + VA	40 15-60 VS + VA
E14	Echangeur de chaleur - ΔT_m = différence de température moyenne entre circuit solaire et chauffe-eau - puissance par m^2 de capteur - type	K kW/m^2	5-15 0.7	10 0.7
E14	Pompe de charge Circuit secondaire - débit par m^2 de capteur	l/h m^2	40-50	40
D15	5 Liquide caloporteur Proportion d'antigel Contenance des capteurs	% l/m^2	35-50 < 2.3	SF SF

Note: SF = Donnée selon fournisseur des capteurs solaires

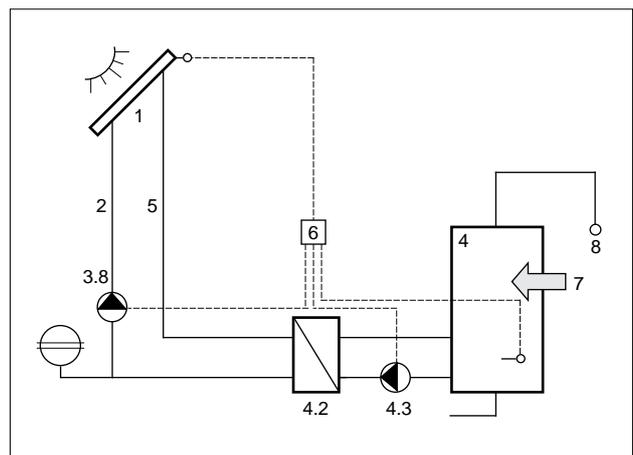
Installations standard prédimensionnées

Nombre de personnes	Consommation journalière d'eau chaude à 55°C, en l/j	Surface de capteurs en m ² (0,8 m ² /personne)	Diamètre de la tuyauterie du circuit solaire Ø	Débit du circulateur en l/h	Pression du circulateur, en mbar (x0.01 = mCE)	Débit de la pompe de charge en l/h (pression nécessaire : ≈ 100 mbar)	Vase d'expansion, type (méthode B)	Chauffe-eau, volume de préchauffage solaire VS, en litres	Echangeur de chaleur solaire, puissance en kW (Δtm = 10 K)	Liquide caloporteur, quantité en litres
20	1000	16	1"	800	350	640	140	640	11.2	70
30	1500	24	1"	1200	450	960	200	960	16.8	90
40	2000	32	1"	1600	650	1280	300	1280	22.4	110
50	2500	40	1 1/4"	2000	510	1600	400	1600	28	150
60	3000	48	1 1/4"	2400	550	1920	500	1920	33.6	170
70	3500	56	1 1/4"	2800	620	2240	600	2240	39.2	190
80	4000	64	1 1/2"	3200	520	2560	600	2560	44.8	235
90	4500	72	1 1/2"	3600	600	2880	750	2880	50.4	250
100	5000	80	1 1/2"	4000	650	3200	750	3200	56	270
110	5500	88	2"	4400	450	3520	900	3520	61.6	290
120	6000	96	2"	4800	500	3840	900	3840	67.2	355

- Pression nominale de la soupape de sécurité: 3 bar.
- Manomètre avec échelle de 0 à 4 bar.
- Les valeurs utilisées pour le dimensionnement d'une installation standard sont répertoriées à la page E5.
- Le taux de couverture solaire est à déterminer à l'aide du diagramme 1.04 de la page E7.4. Appliquer le facteur de correction neutre $F_g = 1$.

Fonctionnement :

Lorsque la température des capteurs dépasse la température du bas du chauffe-eau, le circulateur solaire (3.8) est enclenché, puis, après temporisation, la pompe de charge est également enclenchée. Lorsque cette différence n'est plus assez grande (en général inférieure à 2K) les circulateurs sont déclenchés.



Éléments principaux de l'installation

- 1 Capteurs solaires
- 2 Conduites du circuit solaire
- 3.8 Circulateur
- 4 Chauffe-eau
- 4.2 Echangeur externe
- 4.3 Pompe de charge
- 5 Liquide caloporteur
- 6 Régulation
- 7 Appoint
- 8 Consommateurs d'eau chaude

1 Capteurs solaires

1.01	Données pour le dimensionnement	Unité	Installation standard	Valeurs recommandées
	Consommation d'eau chaude par personne et par jour	l/j p à 55°C	50	-
	Inclinaison des capteurs - Plateau - Valais, Alpes, sud des Alpes	° (degrés) ° (degrés)	15-60 25-60	30-45 45-60
	Orientation des capteurs	° (degrés)	-45 est à +45 ouest	-30 est à +30 ouest
	Rendement des capteurs $\eta = 0.05$	%	50-65	**
	Surface relative théorique de capteurs (A_{relT})	m ² /personne	0.5-1.0	0.8

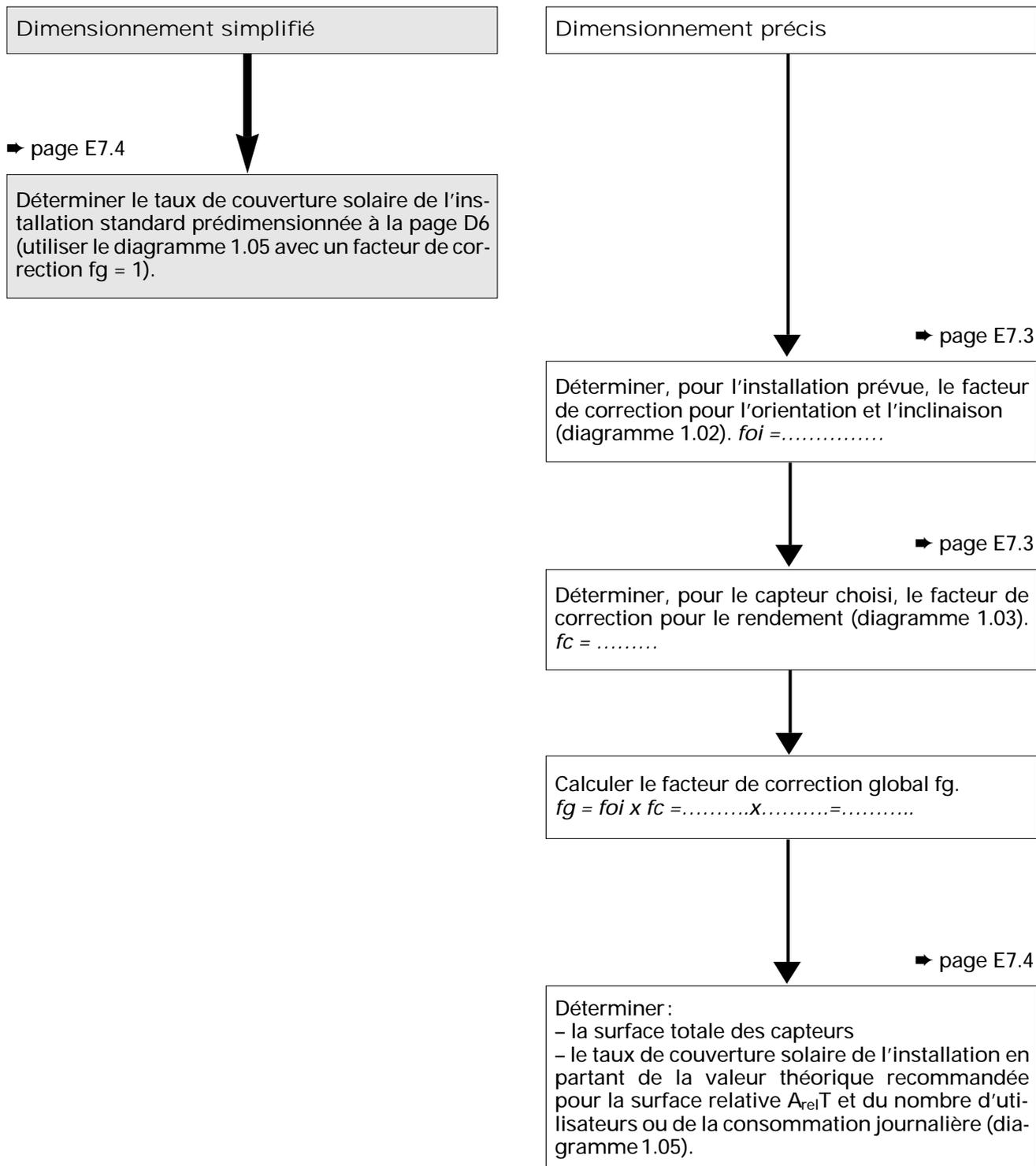
- Informations complémentaires à la méthode de dimensionnement
- Une surface de captage relative théorique (A_{relT}) de 0.8 à 1.0 m² par personne permet généralement de se passer d'appoint durant l'été.
- On arrondira la valeur de la surface de captage vers le haut, en fonction de la taille des capteurs choisis.
- Si le rendement de la production d'énergie d'appoint est faible (inférieur à 80%) il faut commencer par améliorer ce point. Si cela n'est pas possible, il faut dimensionner l'installation en utilisant le haut de la zone grise du diagramme 1.05 (page D7.4). Ainsi il sera probablement possible de mettre hors service l'appoint durant tout l'été.
- Un sous-dimensionnement de l'installation (au-dessous des valeurs indiquées) n'est jamais intéressant. On ne doit y consentir que s'il n'y a pas assez de place à disposition pour les capteurs.
- Un surdimensionnement n'est financièrement pas intéressant car une partie de la chaleur produite en été ne sera pas utilisée. Un surdimensionnement permettra par contre d'augmenter le taux de couverture solaire, mais attention à la capacité de l'accumulateur qui devra pouvoir stocker les excédents estivaux.

La zone grise du diagramme 1.05 définit un domaine dans lequel :

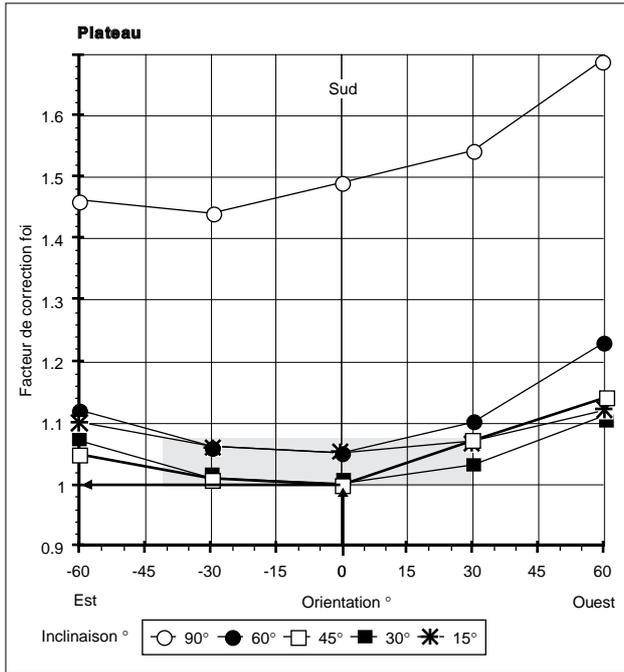
- Les caractéristiques de l'installation sont proches de l'optimum.
- Les installations ainsi dimensionnées sont correctes tant du point de vue technique qu'économique.

** Un rendement élevé des capteurs augmente l'apport de l'installation solaire. Pour le choix des capteurs il faut également prendre en considération leur coût, leur qualité et leur durée de vie présumée. Les caractéristiques des divers capteurs sont répertoriées dans le classeur « Performances des capteurs solaires thermiques » édité par le technicum de Rapperswil (cf. chapitre B. Bases, page B 2.7, paragraphe 2.8).

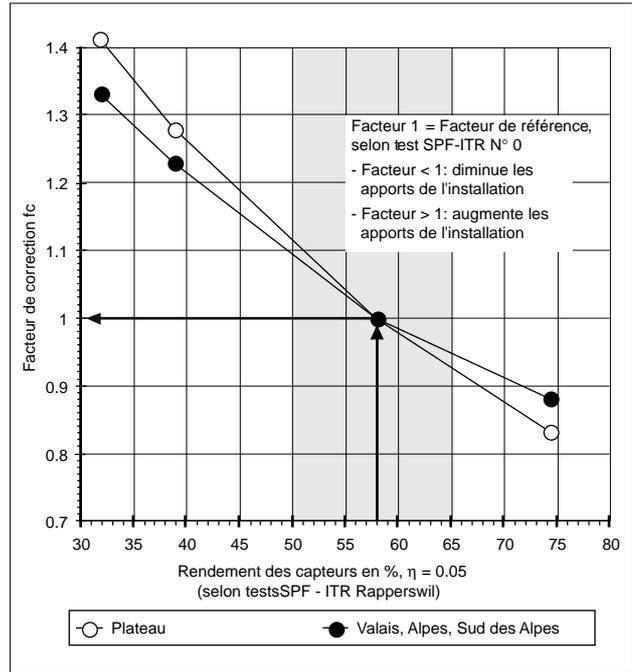
- Méthode pour le dimensionnement de la surface de capteurs solaires



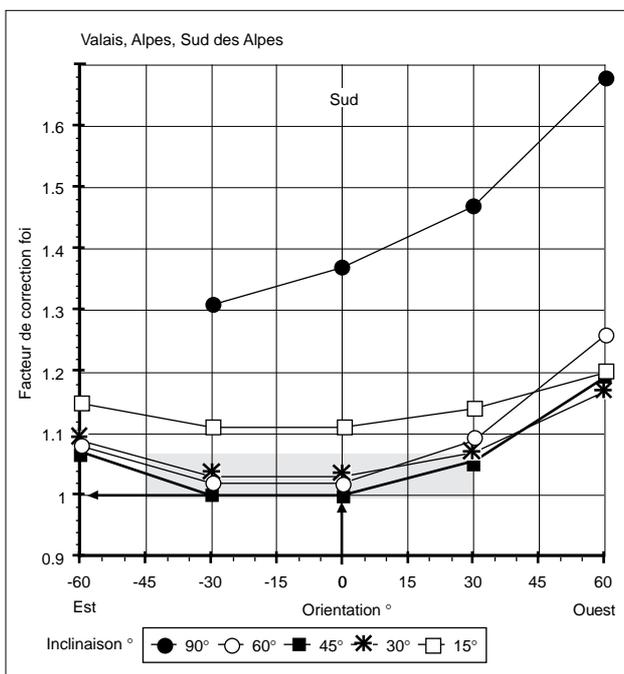
1.02a Facteur de correction pour diverses orientations et inclinaisons des capteurs (foi)



1.03 Facteur de correction pour divers rendements des capteurs (fc)



1.02b Facteur de correction pour diverses orientations et inclinaisons des capteurs (foi)



1.05	Données pour le dimensionnement	Unité	Installation standard	Valeurs recommandées
	Surface relative théorique de capteurs (A_{relT})	m^2 /personne	0.8	0.5-1.0

1.05 Surface de captage et taux de couverture solaire par rapport à la consommation d'eau chaude sanitaire

Comment utiliser le diagramme 1.05

Flèche A

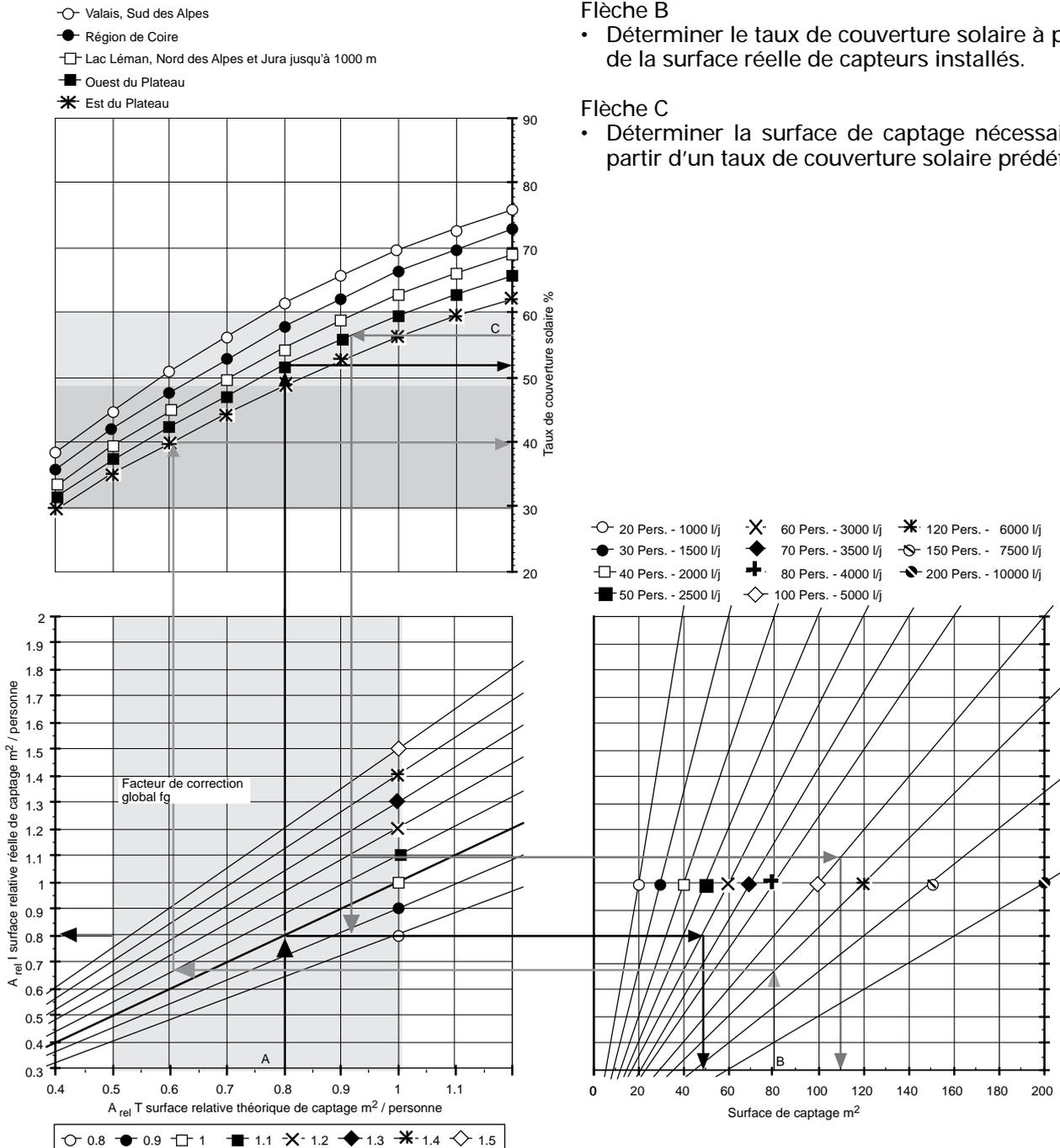
- Déterminer le taux de couverture solaire à partir de la surface relative théorique des capteurs.

Flèche B

- Déterminer le taux de couverture solaire à partir de la surface réelle de capteurs installés.

Flèche C

- Déterminer la surface de captage nécessaire à partir d'un taux de couverture solaire prédéfini.



2 Conduites hydrauliques circuit solaire

2	Données pour le dimensionnement	Unité	Installation standard	Valeurs recommandées
	Débit par m ² de capteur	l/h*m ²	40-50	SF
	Proportion d'antigel	%	35-50	SF
	Longueur des conduites	m	40-60	-
	Épaisseur d'isolation	mm	30-50	30-50
	Vitesse d'écoulement	m/s	0.3 - 1	0.3 - 1
	Perte de charge unitaire	mbar/m	-	-
	Perte de charge totale	mbar	100 - 350	< 300

Note : SF = Données selon fournisseur des capteurs solaires

2.1 Tuyauterie

Pour chaque installation standard, le diamètre des conduites a été prédéterminé; ces diamètres sont donnés à la page E6.

Pour un calcul détaillé de ce diamètre on procédera comme suit :

- Déterminer le débit total du circuit solaire :
 $\text{débit par m}^2 \text{ de capteur (l/h m}^2) \times \text{surface de captage totale (m}^2)$
 $= \dots \times \dots = \dots \text{ l/h}$
- Déterminer le diamètre des conduites en tenant compte des valeurs recommandées dans le tableau ci-dessus.
 Les tables de pertes de charge se trouvent dans le chapitre H, aux pages H5.4, H5.5 et H5.6.

Type de tube.....
 Diamètre.....

2.3 Isolation des conduites

Une épaisseur d'isolation des conduites à l'intérieur du bâtiment de 40 mm à la place de 20 mm augmente les apports solaires en moyenne de 0,2 à 0,4%.

Pour la détermination de l'épaisseur d'isolation il faut encore tenir compte des points suivants :

- le prix de l'isolation ;
- la place à disposition ;
- les règlements en vigueur dans la région.

Une table donnant les pertes de chaleur spécifiques de diverses tuyauteries isolées se trouve dans le chapitre H, aux pages H5.7 et H5.8.

3 Groupe hydraulique circuit solaire

Fonction

Tous les organes nécessaires au bon fonctionnement de l'installation sont regroupés ici.

Bases pour le dimensionnement

Le fournisseur des capteurs livre des groupes pré-fabriqués comprenant tous les composants nécessaires.

Pour choisir le bon groupe, il est nécessaire de prendre en compte les points énumérés dans le tableau 3.0.1.

Dimensionnement

Le fournisseur procède au dimensionnement en prenant en compte les points énumérés dans le tableau 3.0.1.

Pour un dimensionnement précis des composants du groupe, consulter les pages E10 à E12.

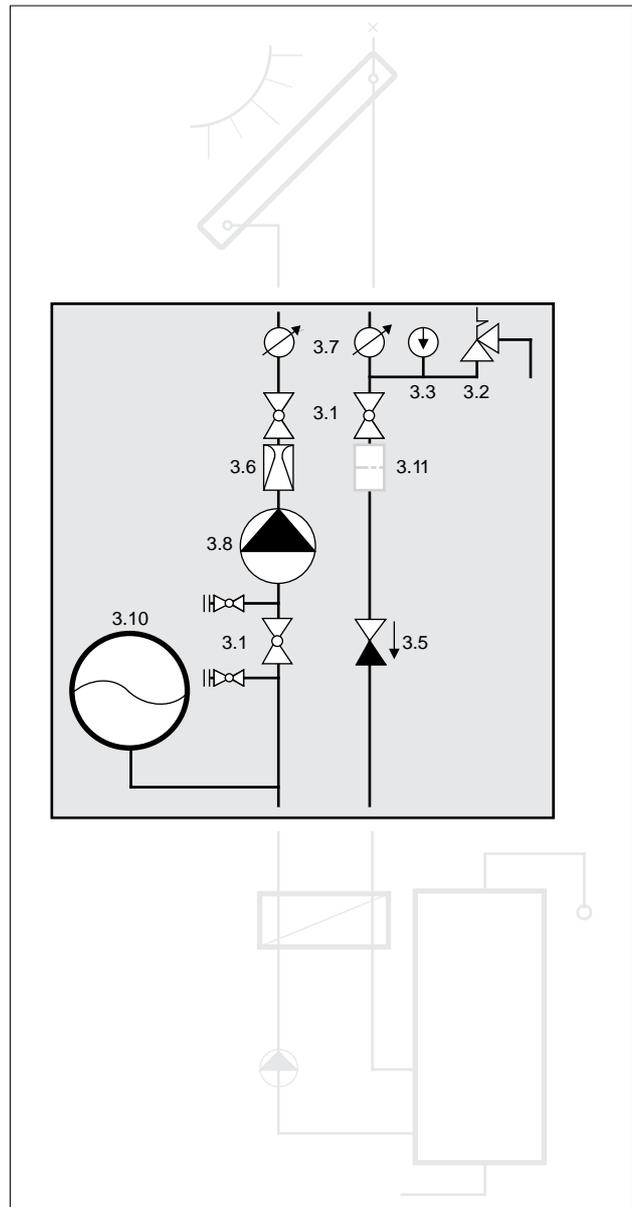


Figure 3.0.1 Composants du groupe hydraulique

- 3.1 Vannes d'arrêt
- 3.2 Soupape de sécurité
- 3.3 Manomètre
- 3.5 Soupape de retenue
- 3.6 Débitmètre
- 3.7 Thermomètre
- 3.8 Circulateur
- 3.10 Vase d'expansion
- 3.11 Filtre éventuel

Points à prendre en compte lors du choix d'un groupe hydraulique

- Marque et type de capteurs	.....
- Nombre de capteurs branchés en parallèle	.....
- Nombre de capteurs branchés en série	.....
- Longueur des conduites circuit solaire (aller + retour)	.....m
- Diamètre des conduites	.....
- Δh = différence de hauteur entre le point le plus haut de l'installation et le vase d'expansion	.....m
- Δvs = différence de hauteur entre le vase d'expansion et la soupape de sécurité	.....m
- Contenance totale du circuit capteur	.....l
- Marque et type de l'échangeur de chaleur solaire	.....

Tableau 3.0.1

3.8 Circulateur

3.8.1 Données pour le dimensionnement	Unité	Installation standard	Valeurs recommandées
Débit par m ² de capteur	l/h m ²	40-50	SF
Composition de l'antigel	%	35-50	SF
Surface de capteurs maximale branchés en série	m ²	SF	SF

Note : SF = Données selon fournisseur des capteurs solaires

- Dimensionnement

- Installation standard

Le circulateur est prédimensionné; vous trouverez ses caractéristiques à la page D6.

La pression du circulateur correspond à la perte de charge maximale admissible dans un circuit solaire (cf. tableau 3.8.2).

- Dimensionnement précis

1. Déterminer le débit total du circuit solaire :

débit par m² de capteur (l/h m²) x surface de captage totale (m²)

=.....x..... =..... l/h

2. Déterminer la perte de charge du circuit solaire, selon les instructions données aux points a à d à la page D10.2 (résumé sur tableau 3.8.3 ci-dessous)

=.....bar =.....mCE

3. Choisir le circulateur sur le catalogue d'un fournisseur.

Remarques :

- Plus la perte de charge du circuit solaire est faible, plus petite est la consommation d'énergie du circulateur.

- Il est possible d'estimer approximativement la taille du circulateur et de poser un circulateur à plusieurs vitesses. On pourra alors régler le débit en le contrôlant à l'aide du débitmètre. Cette solution n'est toutefois pas recommandée car le choix du circulateur est alors rarement optimal et induit une consommation exagérée d'électricité.

Il est dès lors recommandé de calculer soigneusement le circulateur. Un circulateur fonctionnant de manière optimale permet d'économiser une grande quantité d'énergie électrique.

3.8.3 Pertes de charge dans le circuit solaire

Composant	Perte de charge unitaire mbar	Nombre ou longueur	Total mbar
a Capteurs solaires (nombre raccordé en série)			
b Tuyauterie			
c Echangeur de chaleur			
d Composants particuliers			
Perte de charge totale mbar (x 0.01 = mCE)			

Pertes de charge dans le circuit solaire

a. Perte de charge dans les capteurs

- Branchement en série

- Déterminer le débit total dans les capteurs
= *débit total du circuit solaire* = l/h
- Consulter les tables de pertes de charge données par le fournisseur des capteurs. La perte de charge R.....mbar y est déterminée. Attention aux unités utilisées!
- La perte de charge totale des capteurs est la somme de celle des capteurs raccordés en série
= *R x nombre de capteurs branchés en série*
=x..... = mbar

- Branchement en parallèle

- Déterminer le débit total par capteur
= *débit total l/h / nombre de capteurs*
= / = l/h capteur
- Consulter les tables de pertes de charge données par le fournisseur des capteurs. La perte de charge R.....mbar y est déterminée. Attention aux unités utilisées!
- La perte de charge totale des capteurs est égale à celle de chaque capteur raccordé en parallèle
=mbar

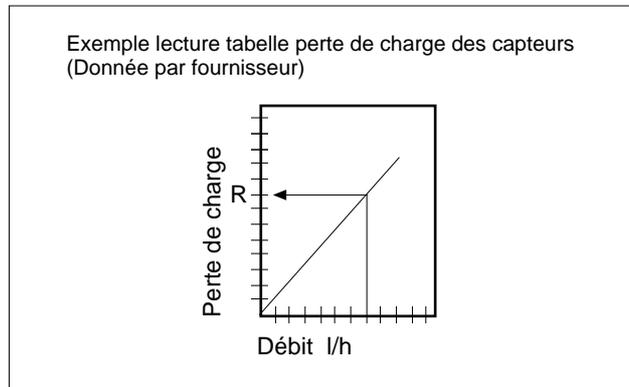
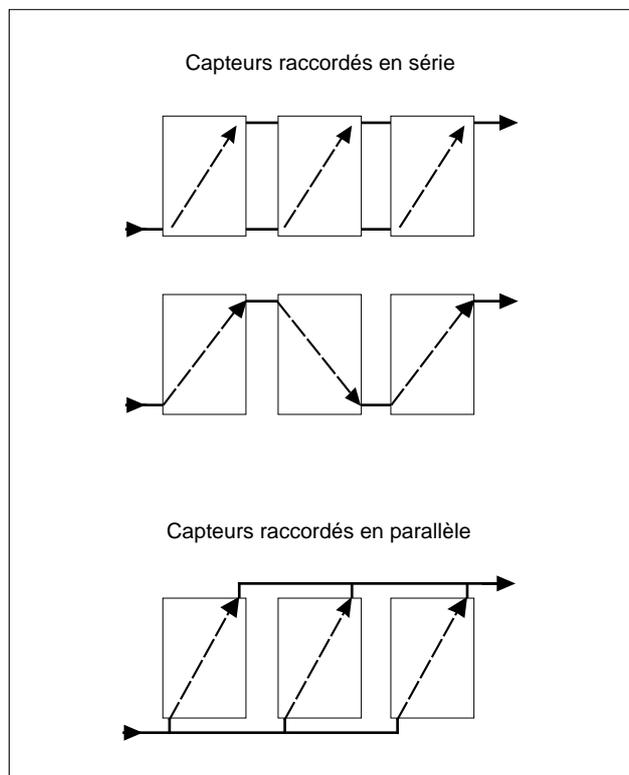
b. Perte de charge des conduites et de la robinetterie

- Déterminer la longueur des conduites du circuit solaire (aller + retour)
 $L_c = \dots\dots\dots m$
- Déterminer la longueur équivalente pour les coudes, la robinetterie, etc, selon la table correspondante au chapitre H, pages H 5.4. Estimation: $L_e = 50\%$ de L_c .
 $L_e = \dots\dots\dots m$
- Calculer la longueur totale
 $L_c + L_e = L_t = \dots\dots\dots m$
- Calculer le débit total dans le circuit solaire (en général 30 à 50 l/h m² capteur, selon donnée fournisseur capteur)
= *surface de capteurs m² x l/h m² = l/h*
- Rechercher la perte de charge par m de conduite selon la table correspondante au chapitre H, pages H5.5 et H5.6
 $R = \dots\dots\dots mbar/m$
- Calculer la perte de charge totale de la tuyauterie:
 $L_t \times R = \dots\dots\dots \times \dots\dots\dots = \dots\dots\dots mbar$

c. Perte de charge de l'échangeur solaire

- Consulter la table de perte de charge ou la fiche technique du fournisseur de l'échangeur. Si l'on ne dispose que d'une table établie pour l'eau, majorer la perte de charge donnée de 30% pour l'utilisation de l'échangeur avec de l'eau additionné d'antigel.

Perte de charge de l'échangeur
= $R = \dots\dots\dots mbar$



3.10 Vase d'expansion

3.10.1 Données pour le dimensionnement	Unité	Installation standard	Valeurs recommandées
Δh = différence de hauteur entre le point le plus haut de l'installation et le vase	m	< 10	-
Δvs = différence de hauteur entre le vase et la soupape	m	1 à -1	B ou C, SF
Méthode de calcul	méthode	B	SF
Proportion d'antigel	%	35-50	SF

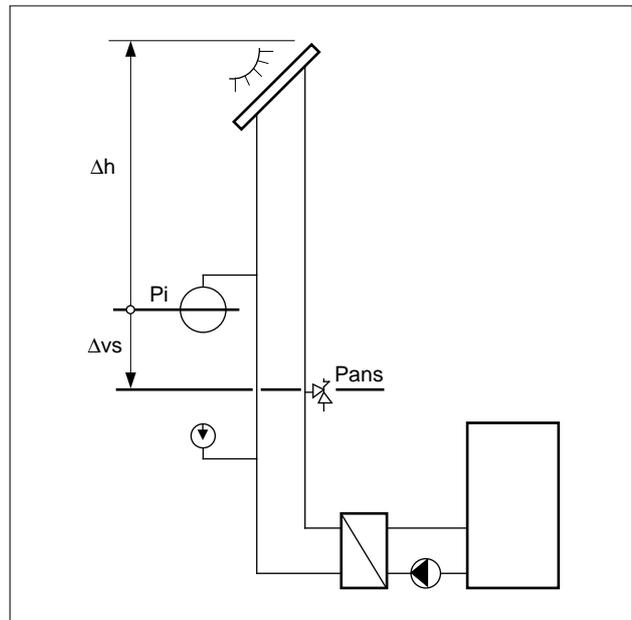
Note: SF = Données selon fournisseur des capteurs solaires

Légende

- Δh = Différence de hauteur entre le haut de l'installation et le vase d'expansionm
- Δvs = Différence de hauteur entre le vase d'expansion et la soupape de sécuritém
- Pans = Pression nominale de la soupape de sécurité. Cette donnée est calculée selon les indications de la page E12. C'est la pression d'ouverture de la soupape de sécuritébar
- Pi = Pression initiale de gonflage dans le vase d'expansion = $(\Delta h/10) + 0.3 \text{ bar}$
= $(\dots\dots/10) + 0.3 = \dots\dots\text{bar}$

• Dimensionnement

1. Choisir la méthode de dimensionnement du vase A, B ou C
2. Déterminer la pression d'ouverture Pans de la soupape de sécurité selon les indications de la page E12bar
3. Calculer le volume de référence pour l'expansion selon le tableau 5.1.2, à la page E15.1
4. Calculer le volume d'expansion nécessaire sur le tableau 3.10.2 p. E11.2
5. Calculer la différence de hauteur entre le point le plus haut de l'installation et le vase d'expansionm
6. Choisir le vase d'expansion à l'aide du tableau «Volume utile d'un vase d'expansion» au chap. H, p. H5.10



Choix de la méthode de calcul (A, B ou C)

Protection de l'installation :	Méthode :
- Expansion en fonctionnement normal	A - B - C
- Pression de remplissage trop élevée	A - B - C
- Bref arrêt du circuit solaire (inférieur à une heure)	A - B - C
- Arrêt prolongé du circulateur (plusieurs heures)	B - C

Méthode A et B: 35 à 50 % d'antigel
Méthode C: 90% d'antigel

3.10.2 Volume utile nécessaire du vase d'expansion

Méthode	Pression finale admissible* Pfa bar	Proportion d'antigel %	Volume de référence litres	Pourcentage d'expansion %	Volume d'expansion litres
A	2.3*	35-50	Volume total du circuit solaire	10	.....
B	2.9*	35-50	Volume du circuit solaire sans les capteurs	10	.....
			Volume des capteurs	100	.....
			TOTAL		.....
C	3.9**	90	Volume total du circuit solaire	15	.....

* Valeurs calculées et indiquées pour une soupape de 3 bar

** Valeurs calculées et indiquées pour une soupape de 4 bar

Si une autre pression nominale de soupape Pans est prévue, calculer la pression finale admissible selon les indications ci-dessous:

$$\begin{aligned} \text{Méthode A: } Pfa &= (Pans \times 0.8) - 0.1 - (\Delta vs/10) \\ &= (\dots\dots\dots \times \dots\dots) - 0.1 - (\dots\dots/10) \\ &= \dots\dots \text{bar} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Méthode B: } Pfa &= Pans - 0.1 - (\Delta vs/10) \\ &= \dots\dots\dots - 0.1 - (\dots\dots/10) \\ &= \dots\dots \text{bar} \end{aligned}$$

Choix du vase d'expansion:

- selon les tables de la page H5.10, ou
- selon la formule suivante:

$$V = \frac{Vu}{(Pi + 1) \left(\frac{1}{(Pr + 1)} \right) - \left(\frac{1}{(Pfa + 1)} \right)}$$

Si le vase d'expansion est existant, on peut calculer son volume utile selon la formule suivante:

$$Vu = V (Pi + 1) \left(\frac{1}{(Pr + 1)} - \frac{1}{(Pfa + 1)} \right)$$

Rappel

Pfa: Pression finale admissible dans le vase et dans l'installation à chaud.

Pans: Pression nominale de la soupape de sécurité = pression d'ouverture.
Pans est calculé selon les indications de la page E12.

Δvs : Différence de hauteur entre le vase et la soupape:

- si le vase est plus haut que la soupape Δvs est positif;
- si le vase est plus bas que la soupape Δvs est négatif.

Δh : Différence de hauteur entre le point le plus haut de l'installation et le vase d'expansion

Δem : Différence de hauteur entre le vase d'expansion et le manomètre.

Pr: Pression de remplissage à froid de l'installation

$$\begin{aligned} &= (\Delta em (m) + \Delta h (m) + 5) / 10 \\ &= \dots\dots\dots + \dots\dots\dots + 5) / 10 \\ &= \dots\dots\dots \text{bar} \end{aligned}$$

Pi: Pression initiale de gonflage du vase d'expansion. Voir page E11.1

V: Volume total du vase d'expansion

Vu: Volume utile du vase d'expansion

3.2 Soupape de sécurité

3.3 Manomètre

3.2.1	Données pour le dimensionnement	Unité	Installation standard	Valeurs recommandées
Δh		m	5-8	-
P_c		bar	>2.5	SF
Pans		bar	3	-
Δsm		m	1 à-1	-
Echelle du manomètre		bar	0-4 bar	Pans x 1.2

Légende

- Δh = Différence de hauteur entre le haut de l'installation et le vase d'expansionm
- Δcs = Différence de hauteur entre le bas des capteurs et la soupape de sécuritém
- Δse = Différence de hauteur entre la soupape de sécurité et un élément du circuit solaire. Δse varie en fonction de l'emplacement de l'élément de référencem
- Δsm = Différence de hauteur entre le manomètre et la soupape de sécuritém
- Δvs = Différence de hauteur entre le vase d'expansion et la soupape de sécuritém
- Pans = Pression nominale de la soupape de sécurité. Cette donnée se trouve dans le catalogue du fournisseur de la soupape. C'est la pression d'ouverture de la soupape de sécuritébar
- P_c = Pression maximale dans les capteurs autorisée par le fournisseur. Cette donnée se trouve dans le catalogue du fournisseur des capteurs.....bar

• Dimensionnement de la soupape de sécurité

Il est judicieux de choisir une soupape de sécurité avec une pression nominale Pans la plus élevée possible. Cela permet en effet de pouvoir utiliser un modèle de vase d'une capacité réduite.

$$Pans_{maxi} = (\Delta cs/10) + P_c - 0.1$$

$$=/10) + - 0.1 = bar$$

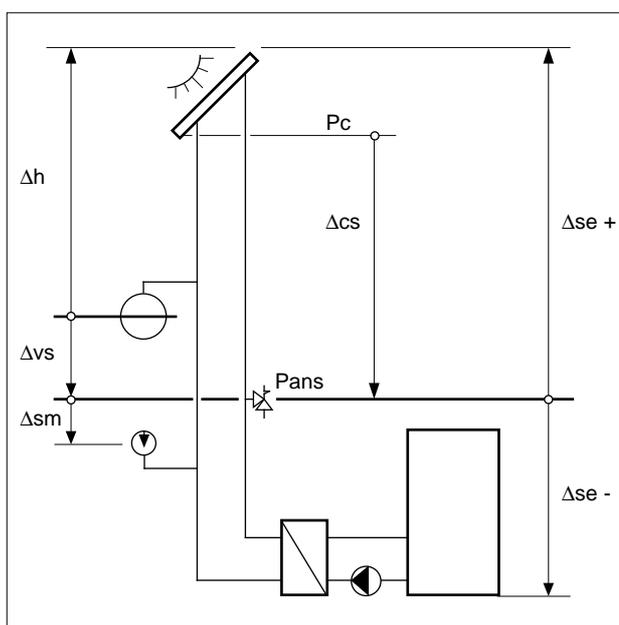
Dans la pratique on choisira une soupape standard du commerce à la valeur Pans immédiatement inférieure à la valeur calculée. Il est également possible d'installer une soupape spécialement tarée à Pans maxi.

Avant d'effectuer le choix définitif de la soupape il est encore nécessaire de prendre les précautions suivantes :

1. La pression de service du vase d'expansion autorisée par le constructeur doit être supérieure à la pression Pans de la soupape de sécurité.
2. Les composants du circuit solaire doivent résister à une pression de:

$$Pans + (+ - \Delta se/10) = + (...../10) = bar$$

S'il n'est pas possible d'installer un vase ou des composants résistants à la valeur Pans prédéfini de la soupape, il faut choisir une soupape avec une



valeur Pans plus basse. On veillera toutefois à choisir la soupape dans les limites d'utilisation indiquées ci-dessous :

Méthode de calcul du vase	Pans soupape bar	Utilisable pour un Δh maximum de m
A	2,5	13 - Δvs =
A	3	17 - Δvs =
A	4	25 - Δvs =
B	2,5	18 - Δvs =
B	3	23 - Δvs =
B	4	30 - Δvs =

• Dimensionnement du manomètre

Le manomètre doit avoir une échelle d'indication de la pression dont le maximum est au moins égal à :

$$(Pans \times 1.2) + (\Delta sm/10) = (..... \times 1.2) + (...../10)$$

$$= bar$$

4 Chauffe-eau sanitaire

4.1.1	Données pour le dimensionnement	Unité	Installation standard	Valeurs recommandées
	Volume solaire VS par m ² de capteur	l/m ²	30-60	40

• Dimensionnement

Installation standard

Le chauffe-eau est prédimensionné ; vous trouverez ses caractéristiques à la page E6.

Dimensionnement précis

1. Déterminer le volume solaire VS:
à l'aide du diagramme 4.1.2
VS =l

2. Déterminer le volume d'appoint VA:
Ce volume dépend du nombre de recharges journalières possibles et se rapporte au nombre d'utilisateurs (si vous ne connaissez que la consommation journalière, divisez-la par 50 l/j et vous obtiendrez ainsi le nombre équivalent d'utilisateurs).

Recharge 4 fois par jour :
VA =personnes x 15 l/personne =l

Recharge 3 fois par jour :
VA =personnes x 20 l/personne =l

Recharge 2 fois par jour :
VA =personnes x 30 l/personne =l

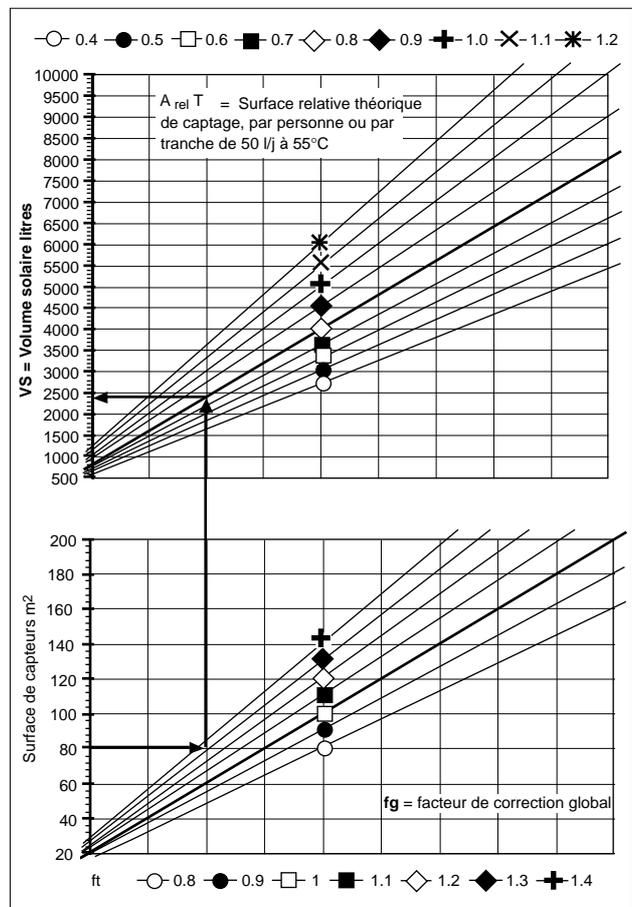
Recharge 1 fois par jour :
VA =personnes x 60 l/personne =l

3. Déterminer le volume total VT:
VT = VS + VA =+.....=.....l

IMPORTANT

Si l'échangeur du circuit solaire est de type immergé et est placé horizontalement dans le chauffe-eau, le volume d'eau situé au-dessous ne pourra pas être chauffé. Ce volume mort devra être ajouté au volume VT calculé.

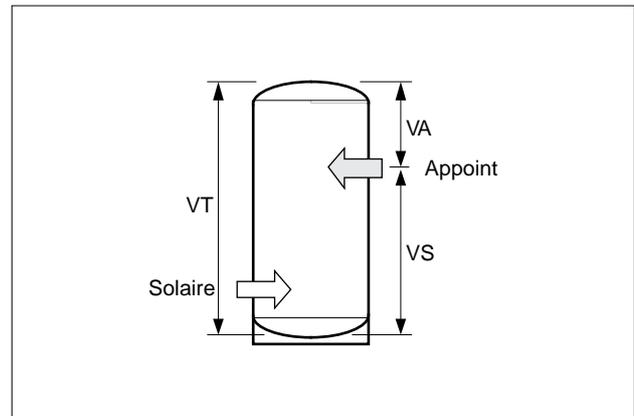
4.1.2 VS = Volume solaire



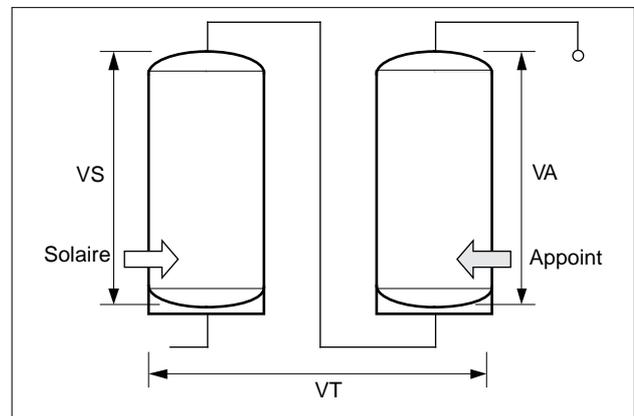
Attention :

Cette méthode de dimensionnement n'est valable que dans les cas où la consommation est constante tout au long de la semaine et tout au long de l'année, par exemple dans un immeuble locatif.

Certains bâtiments ont une consommation très irrégulière, par exemple les centres sportifs dont la consommation est plus importante le week-end et généralement très faible en été. Pour ce type de bâtiments, le chauffe-eau doit être dimensionné d'une autre manière. Il faut alors s'adresser à un fournisseur ou à un bureau d'ingénieur spécialisé disposant de programmes de calculs adéquats. Le programme «Polysun», par exemple, permet de simuler les soutirages d'eau chaude et ainsi d'optimiser la taille du chauffe-eau.



Chauffe-eau combiné solaire et appoint



Deux chauffe-eau: 1 x solaire, 1 x appoint

4.2 Echangeur de chaleur solaire

4.2.1	Données pour le dimensionnement	Unité	Installation standard	Valeurs recommandées
	Puissance par m ² de capteur	KW/m ²	0.7	0.7
	ΔT_m = différence de température moyenne	K	5-15	10

Informations utiles au dimensionnement

Le tableau 4.2.2 montre les différences d'efficacité d'une installation solaire en fonction de la différence de température ΔT_m :

- Une faible différence de température améliore l'efficacité de l'installation.
- Une grande différence de température diminue cette efficacité.

T_{1m} = température moyenne des capteurs (circuit primaire)

T_{2m} = température moyenne du chauffe-eau à proximité immédiate de l'échangeur (circuit secondaire)

ΔT_m = écart entre T_{1m} et T_{2m}

4.2.2 Influence du choix du ΔT_m de l'échangeur sur l'efficacité de l'installation							
ΔT_m ($T_{1m}-T_{2m}$)	K	5	10	15	20	25	
Variation de l'efficacité de l'installation solaire	%	3.5	0	-3.5	-7	-10	

- Dimensionnement

L'efficacité d'un échangeur dépend de multiples facteurs et l'installateur ne pourra que difficilement l'estimer. Pour cette raison, l'échangeur sera généralement calculé par le fournisseur. Celui-ci fournira une fiche technique des caractéristiques de l'appareil: puissance, températures de fonctionnement, pertes de charge, encombrement.

Le tableau 4.2.3 énumère les données à transmettre au fournisseur de l'échangeur pour le dimensionnement.

4.2.3 Données nécessaires au calcul de l'échangeur solaire externe et de la pompe de charge du chauffe-eau

Exemple avec une différence de température moyenne ΔT_m de 10K

Puissance à transférer	Surface de captage (m ²) x 0.7 kW/m ²	kW	.....
Circuit primaire (solaire)			
Liquide caloporteur	Mélange eau/antigel	%	.....
Débit	Surface de captage (m ²)..... x 50 l/hm ²	l/h	.....
T1 entrée/sortie		°C	46/32
Perte de charge maximale	Recommandée: < 100 mbar	mbar	.....
Circuit secondaire (charge chauffe-eau)			
Liquide caloporteur	Eau		.....
Débit	Surface de captage (m ²)..... x 40 l/hm ²	l/h	.....
T2 entrée/sortie		°C	22/37
Perte de charge maximale	Recommandée: < 100 mbar	mbar	.....

Vous trouverez la méthode de dimensionnement pour un échangeur immergé au chapitre D, à la page D14

5 Liquide caloporteur

5.1.1	Données pour le dimensionnement	Unité	Installation standard	Valeurs recommandées
	Contenance des capteurs	l/m ²	< 2.3	SF
	Longueur des conduites	m	40-60	-
	Proportion d'antigel	%	35-50	SF

Note: SF = Données selon fournisseur des capteurs solaires

- Dimensionnement
 - Installation standard
Le contenu du circuit solaire est prédimensionné ; vous trouverez ces caractéristiques à la page E6.
 - Dimensionnement précis
 1. Déterminer le contenu de chaque élément de l'installation à l'aide du tableau 5.1.2, points a à d.
 2. Effectuer le total intermédiaire I.
 3. Effectuer le total intermédiaire II.
 4. Déterminer le vase d'expansion, selon la méthode décrite à la page E11, sur la base du total II.
 5. Déterminer le contenu initial du vase, après son remplissage à froid, selon le tableau 5.1.3 et le reporter sur le tableau 5.1.2 en e.
 6. Effectuer le total général III.

5.1.2 Contenu du circuit solaire

No	Composant	Contenu unitaire litres	Unités	Nombre	Contenu total par composant litres
a1	Tuyauterie Ø		m		
a2	Tuyauterie Ø		m		
a3	Tuyauterie Ø		m		
b	Echangeur solaire		pce	1	
c	Eléments particuliers				
I	Volume du circuit solaire sans les capteurs				
d	Capteurs solaires		pce		
II	Volume total du circuit solaire sans le vase d'expansion				
e	Contenu initial du vase après remplissage à froid (tableau 5.1.3)		pce	1	
III	Volume total du circuit solaire y compris le vase d'expansion				

5.1.3 Contenu initial en eau d'un vase d'expansion, après remplissage à froid de l'installation

Type de vase et contenu initial en litres																
Δh -m	Pi-bar	12	18	25	35	50	80	110	140	200	300	400	500	600	750	900
1	0.4	1.5	2.4	3.3	4.6	5.9	9.8	13.8	18.6	27.8	38.3	48.8	62.5	75.1	91.1	109.4
2	0.5	1.4	2.3	3.1	4.3	5.5	9.2	12.9	17.5	26.1	36.1	45.9	58.8	70.7	85.7	102.9
3	0.6	1.3	2.1	2.9	4.1	5.2	8.7	12.2	16.5	24.7	34.1	43.4	55.6	66.7	81.0	97.2
4	0.7	1.3	2.0	2.7	3.9	4.9	8.2	11.6	15.7	23.4	32.3	41.1	52.6	63.2	76.7	92.1
5	0.8	1.2	1.9	2.6	3.7	4.7	7.8	11.0	14.9	22.2	30.7	39.0	50.0	60.1	72.9	87.5
6	0.9	1.1	1.8	2.5	3.5	4.5	7.5	10.5	14.2	21.1	29.2	37.2	47.6	57.2	69.4	83.3
7	1.0	1.1	1.7	2.4	3.4	4.3	7.1	10.0	13.5	20.2	27.9	35.5	45.5	54.6	66.2	79.5
8	1.1	1.0	1.7	2.3	3.2	4.1	6.8	9.6	12.9	19.3	26.7	33.9	43.5	52.2	63.4	76.1
9	1.2	1.0	1.6	2.2	3.1	3.9	6.5	9.2	12.4	18.5	25.6	32.5	41.7	50.1	60.7	72.9
10	1.3	1.0	1.5	2.1	3.0	3.8	6.3	8.8	11.9	17.8	24.5	31.2	40.0	48.1	58.3	70.0
11	1.4	0.9	1.5	2.0	2.8	3.6	6.0	8.5	11.4	17.1	23.6	30.0	38.5	46.2	56.0	67.3
12	1.5	0.9	1.4	1.9	2.7	3.5	5.8	8.1	11.0	16.4	22.7	28.9	37.0	44.5	54.0	64.8
13	1.6	0.9	1.4	1.9	2.6	3.4	5.6	7.9	10.6	15.9	21.9	27.9	35.7	42.9	52.0	62.5
14	1.7	0.8	1.3	1.8	2.5	3.2	5.4	7.6	10.3	15.3	21.1	26.9	34.5	41.4	50.2	60.3
15	1.8	0.8	1.3	1.7	2.5	3.1	5.2	7.3	9.9	14.8	20.4	26.0	33.3	40.0	48.6	58.3
16	1.9	0.8	1.2	1.7	2.4	3.0	5.1	7.1	9.6	14.3	19.8	25.2	32.3	38.8	47.0	56.5
17	2.0	0.8	1.2	1.6	2.3	2.9	4.9	6.9	9.3	13.9	19.2	24.4	31.3	37.5	45.5	54.7
18	2.1	0.7	1.2	1.6	2.2	2.8	4.7	6.7	9.0	13.5	18.6	23.7	30.3	36.4	44.2	53.0
19	2.2	0.7	1.1	1.5	2.2	2.8	4.6	6.5	8.8	13.1	18.0	23.0	29.4	35.3	42.9	51.5

Δh = Différence de hauteur entre le haut de l'installation et le vase d'expansion [m]

Pi = Pression initiale de gonflage dans le vase d'expansion [bar]

Récapitulation des données techniques

Page	Données		Unité	Valeur
	Besoins en eau chaude sanitaire			
	Nombre d'utilisateurs		p (personnes)	
	Consommation journalière à 55°C		l/j	
E7	1 Capteurs solaires			
	Marque			
	Type			
	Surface utile par capteur		m ²	
	Nombre de capteurs		pce	
	Surface utile totale		m ²	
	Surface relative théorique	AreIT	m ² /p	
	Orientation		°	
	Inclinaison		°	
	Facteur de correction pour l'orientation et l'inclinaison	Foi		
	Rendement des capteurs $\eta = 0.05$		%	
	Facteur de correction pour capteur	Fc		
	Facteur de correction global	Fg		
	Taux de couverture solaire		%	
E8	2 Conduites hydrauliques			
	Matériau			
	Longueur (aller + retour)		m	
	Débit par m ² de capteur		l/h	
	Débit total du circuit solaire		l/h	
	Proportion d'antigel		%	
	Diamètre			
E10	3.8 Circulateur			
	Débit total du circuit solaire		l/h	
	Perte de charge du circuit solaire		mbar	
	Perte de charge du circuit solaire		mCE	
	Marque			
	Type			
	Puissance absorbée		W	
E11	3.10 Vase d'expansion			
	Différence de hauteur capteurs/vase	Δh	m	
	Pression initiale du vase	Pi	bar	
	Méthode de calcul (A, B ou C)			
	Volume d'expansion			
	Type			

Récapitulation des données techniques (suite)

Page	Données		Unité	Valeur
E12	3.2 Soupape de sécurité			
	Pression nominale Pans		bar	
	3.3 Manomètre			
	Echelle		bar	
E13	4 Chauffe-eau sanitaire			
	Volume total	VT	l	
	Volume solaire	VS	l	
	Volume d'appoint	VA	l	
	Volume par personne		l/p	
	Volume par $A_{rel}T$		l/m ²	
E14	4.2 Echangeur de chaleur solaire			
	Type			
	Puissance à transférer		kW	
	ΔT_m de l'échangeur solaire		K	
E14	4.3 Pompe de charge du chauffe-eau (circuit secondaire)			
	Débit total du circuit de charge		l/h	
	Perte de charge du c ircuit de charge		mbar	
	Marque		mCE	
	Type			
	Puissance absorbée		W	
E15	5 Liquide caloporteur			
	Type			
	Proportion d'antigel		%	
	Protection contre le gel		°C	
	Contenu de l'installation		l	
	Circulation sanitaire			
	Nombre d'heures de fonctionnement journalières		h	

Exemple d'offre

Référence:	N° offre.....	Date.....
Système:		

Description	Unité	Nombre	Prix	Total
<p>Capteurs solaires</p> <p>Capteurs solaires marque type.....</p> <p>Surface utile m²/capteur, soit au total..... m²</p> <p>Test IT Rapperswil N°</p> <p>Rendement $\eta = 0.05$.....%</p> <p>Composition du capteur:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cadre - Isolation thermique - Couverture transparente - Absorbeur - Revêtement de l'absorbeur <p>Fixations et raccords</p>	pièce	.....	.....	.....
<p>Chauffe-eau sanitaire</p> <p>Chauffe-eau marque.....type.....</p> <p>volume total VT.....litres</p> <ul style="list-style-type: none"> - Revêtement intérieur..... - Isolation thermique..... - Echangeur de chaleur solaire, type <p>Surface d'échange m²</p> <p>Puissance kW pour un ΔT_m de .....K</p> <ul style="list-style-type: none"> - Corps de chauffe électrique type puissance kW <p>Réchauffement de litres en heures</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pompe de charge du chauffe-eau marque..... type..... y compris la robinetterie 	pièce	.....	.....	.....
<p>Groupe hydraulique</p> <p>Groupe hydraulique compact, Ø.....</p> <p>2 thermomètres, 1 soupape de sécurité avec manomètre</p> <p>2 vannes d'arrêt, 2 robinets de vidange et remplissage</p> <p>1 clapet de retenue</p> <ul style="list-style-type: none"> - Circulateur marque type..... - Vase d'expansion marque type..... 	pièce	.....	.....	.....
<p>Régulation</p> <p>Régulateur par températures différentielles</p> <p>marque.....type.....</p> <p>y c. sonde capteurs et</p> <p>sonde plongeante pour le chauffe-eau</p> <p>.....</p> <p>.....</p>	pièce	.....	.....	.....

Exemple d'offre (suite)

Référence:	N° offre.....	Date.....
Système:		

Description	Unité	Nombre	Prix	Total
Liquide caloporteur Type	litres	.....	.....	.....
Proportion.....%				
Protection contre le gel.....°C				
Contenu du circuit solaire..... litres				
Conduites hydrauliques Conduites entre les capteurs et le chauffe-eau	unit	.....	.....	.....
- longueur.....m				
- conduites en.....diamètre..... - isolation en.....épaisseur.....mm				
Transport et montage	unit	.....	.....	.....
- Montage des capteurs solaires				
- Pose des appareils en chaufferie				
- Pose des conduites isolées				
- Rinçage, remplissage et purge de l'installation				
- Travail technique: - schémas hydraulique et électrique - mise en service et instructions de service				

Montant total de l'offre Fr.

Taux de couverture solaire prévisible

- Taux de couverture de la production d'eau chaude.....%

Travaux non compris:

- Raccordements sanitaires
- Raccordements électriques
- Engin pour la montée des matériaux sur la toiture
- Ferblanterie
- Si nécessaire, protections selon prescriptions CNA

Annexé à cette offre:

- Documentation
- Schéma hydraulique
-

F Production d'eau chaude sanitaire et participation au chauffage des locaux pour maisons familiales

Schéma de l'installation standard	F1	128
Table des matières	F2	129

Schéma de l'installation standard

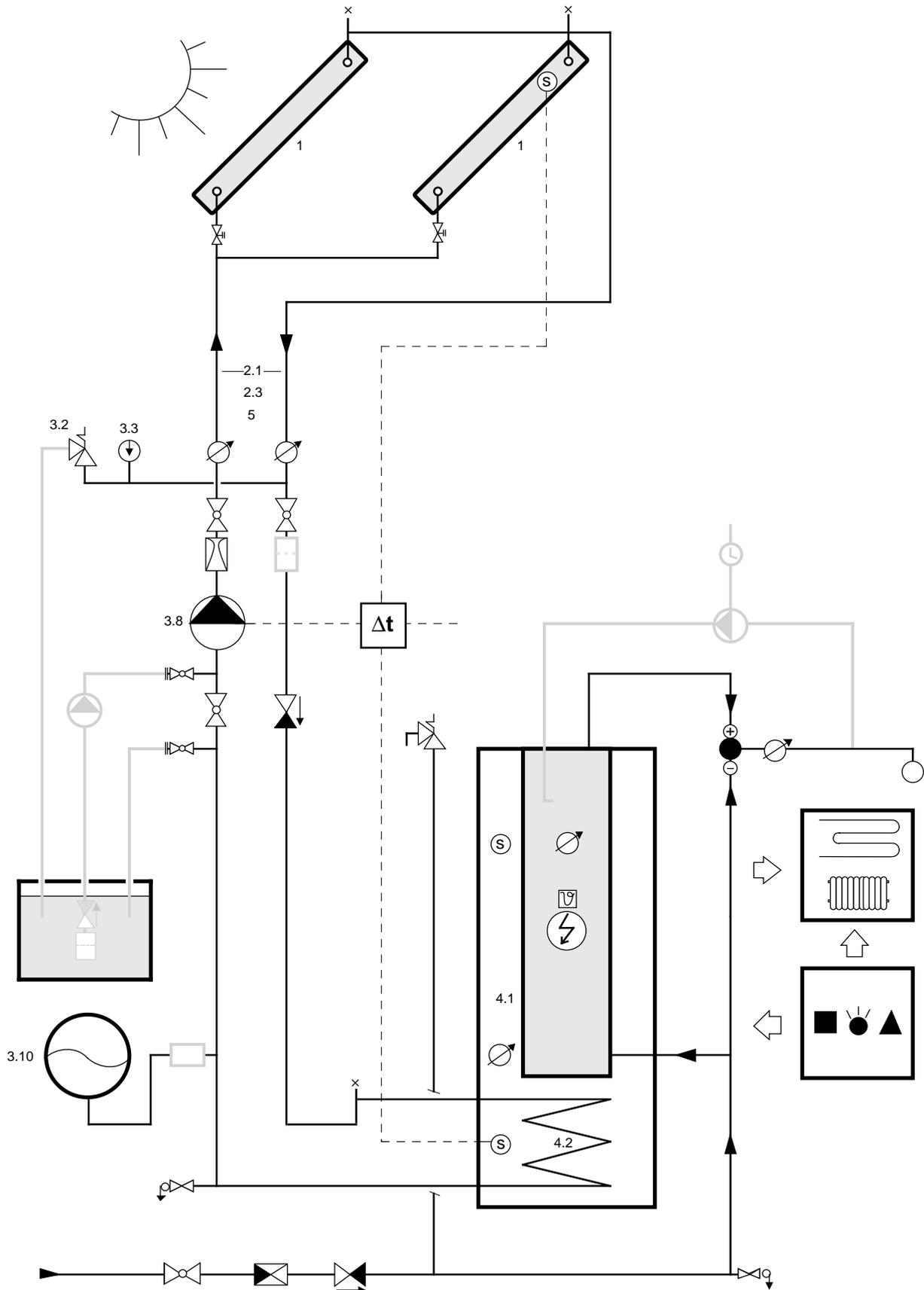


Table des matières

Le but du chapitre F est de présenter une méthode permettant de dimensionner les composants d'une installation solaire destinée à la production d'eau chaude et au chauffage des locaux, de manière simplifiée ou de manière détaillée.

La méthode de calcul proposée est valable dans le cas de maisons familiales, avec une surface de captage comprise entre 5 et 50 m² et une consommation annuelle d'énergie de 50 MWh au maximum.

Elle ne peut être appliquée que dans les cas où les données concernant l'objet de l'étude correspondent aux limites fixées dans ce chapitre, et s'il s'agit de bâtiments de construction usuelle.

L'énergie solaire captée est stockée durant un laps de temps limité et utilisée non seulement pour la

préparation d'eau chaude sanitaire, mais également pour une participation au chauffage des locaux. On ne traitera pas ici d'installations solaires combinées de plus grande taille, ni d'installations pour des utilisations particulières telles les maisons à basse consommation d'énergie ou disposant d'un stockage saisonnier. De telles installations doivent dans tous les cas être dimensionnées par un bureau d'ingénieurs compétent.

Les installations solaires combinées eau chaude et chauffage sont plus chères et moins rentables financièrement que celles prévues pour la production d'eau chaude sanitaire seule. Par contre elles augmentent l'autonomie énergétique du bâtiment et améliore son confort en mi-saison par l'apport d'énergie gratuite.

			Page
Schéma de l'installation standard			128
Variantes et compléments au schéma de base			130
Procédure pour le dimensionnement d'une installation			131
Définition de l'installation standard			133
Installations standard prédimensionnées			134
Dimensionnement précis des composants :			
1	Capteurs solaires	F7	136
2	Conduites hydrauliques circuit solaire	F8	140
2.1	Tuyauterie	F8	140
2.3	Isolation des conduites	F8	140
3	Groupe hydraulique circuit solaire	F9	141
3.8	Circulateur	F10	142
3.10	Vase d'expansion	F11	144
3.2	Soupape de sécurité	F12	146
3.3	Manomètre	F12	146
4	Accumulateur combiné chauffage et eau chaude	F13	147
4.1	Accumulateur combiné	F13	147
4.2	Echangeur de chaleur solaire	F14	149
5	Liquide caloporteur	F15	151
Récapitulation des données techniques			153
Exemple d'offre			155

Variantes et compléments au schéma de base

Installation combinée avec gestion optimisée

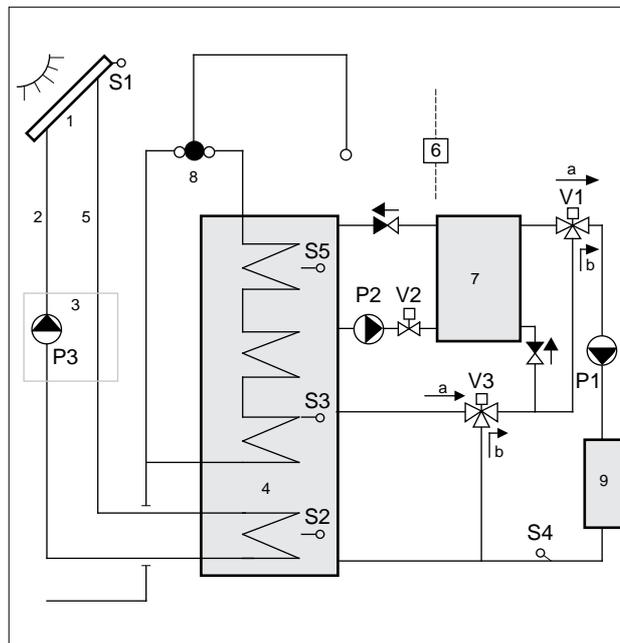
- Description de l'installation
- Le circuit solaire réchauffe un accumulateur combiné (chauffage et eau chaude).
- L'accumulateur combiné est rempli d'eau de chauffage. La préparation d'eau chaude telle qu'elle est représentée sur le schéma se fait à l'aide d'échangeurs immergés dans lesquels circule l'eau sanitaire. Ceci permet de satisfaire aux règles d'hygiène les plus strictes car l'eau chaude sanitaire y est produite de façon instantanée.

Le préchauffage de l'eau sanitaire par le solaire à lieu dans les échangeurs au bas de la cuve et le complément éventuellement nécessaire par l'appoint dans les échangeurs du haut de la cuve. Il est clair que dans ce système on peut sans autre utiliser un chauffe-eau bain-marie à la place de l'échangeur.

- Le retour du chauffage passe à travers l'accumulateur s'il est possible et nécessaire d'en soutirer de la chaleur.
- En cas de besoin de chaleur important pour le chauffage des locaux, et si un soutirage est possible, tout le débit sera conduit à travers le bas de l'accumulateur afin de le décharger aussi vite que possible et de favoriser ainsi la charge par l'énergie solaire.
- Le complément d'énergie au chauffage se fait par passage du circuit chauffage à travers la chaudière d'appoint, après un éventuel préchauffage par l'énergie solaire stockée dans l'accumulateur.
- Lorsqu'un appoint est nécessaire pour la préparation d'eau chaude, la chaudière d'appoint chauffe le haut de l'accumulateur.

• Fonctionnement

- Charge de l'accumulateur combiné par les capteurs solaires:
Si $S1 > S2$, le circulateur solaire P3 est enclenché
- Décharge accumulateur et appoint pour chauffage:
Une régulation en fonction de la température extérieure commande progressivement les vannes V1 et V3. L'énergie est soutirée de l'accumulateur si $S3 > S4$. Si tel n'est pas le cas, la vanne V3 reste en position b (voie accumulateur fermée) et la chaleur nécessaire au chauffage est produite par la chaudière (vanne V1 en position a).
- Appoint pour l'eau chaude sanitaire:
Si $S5 <$ à la température de consigne réglée (en général 60°C), la chaudière et la pompe P2 sont enclenchées et la Vanne V2 ouverte



Composants principaux de l'installation

- 1 Capteurs solaires
- 2 Conduites du circuit solaire
- 3 Groupe hydraulique
- 4 Accumulateur combiné
- 5 Liquide caloporteur antigel
- 6 Régulation
- 7 Appoint
- 8 Circuit d'eau sanitaire
- 9 Circuit de chauffage

• Avantages du système

L'énergie solaire est utilisée de façon optimale. Les capteurs solaires fonctionnent à un niveau de température le plus bas possible et leur rendement augmente car :

- En cas de chauffage par la chaudière seule, le retour du chauffage ne passe jamais par l'accumulateur.
- L'accumulateur est déchargé rapidement car le départ du chauffage est raccordé dans la zone chauffée par les capteurs solaires. La place est ainsi libérée dans l'accumulateur pour de nouveaux apports solaires.
- Seul le sommet de la cuve est éventuellement réchauffé par l'appoint pour le complément au sanitaire.

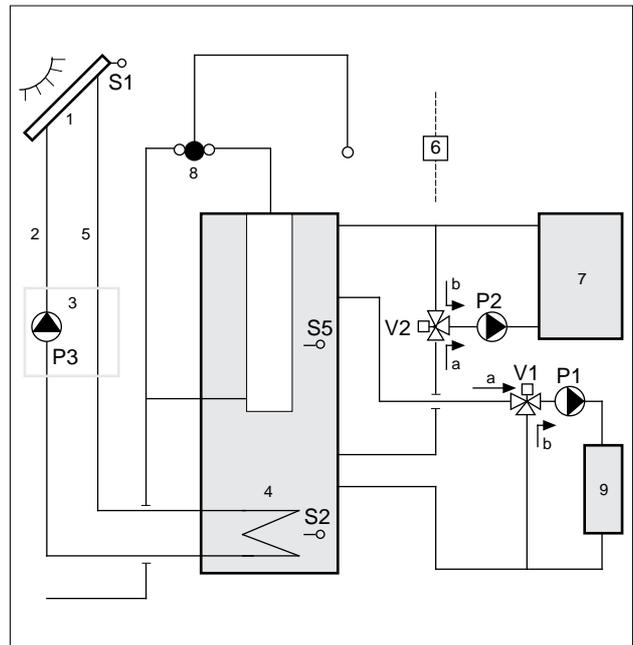
Avec un tel système les apports solaires utiles sont 15 à 20% plus élevés qu'avec un stockage en vrac.

• Inconvénients du système

- Un peu plus complexe et onéreux que le système avec stockage en vrac.

Installation combinée avec stockage en vrac

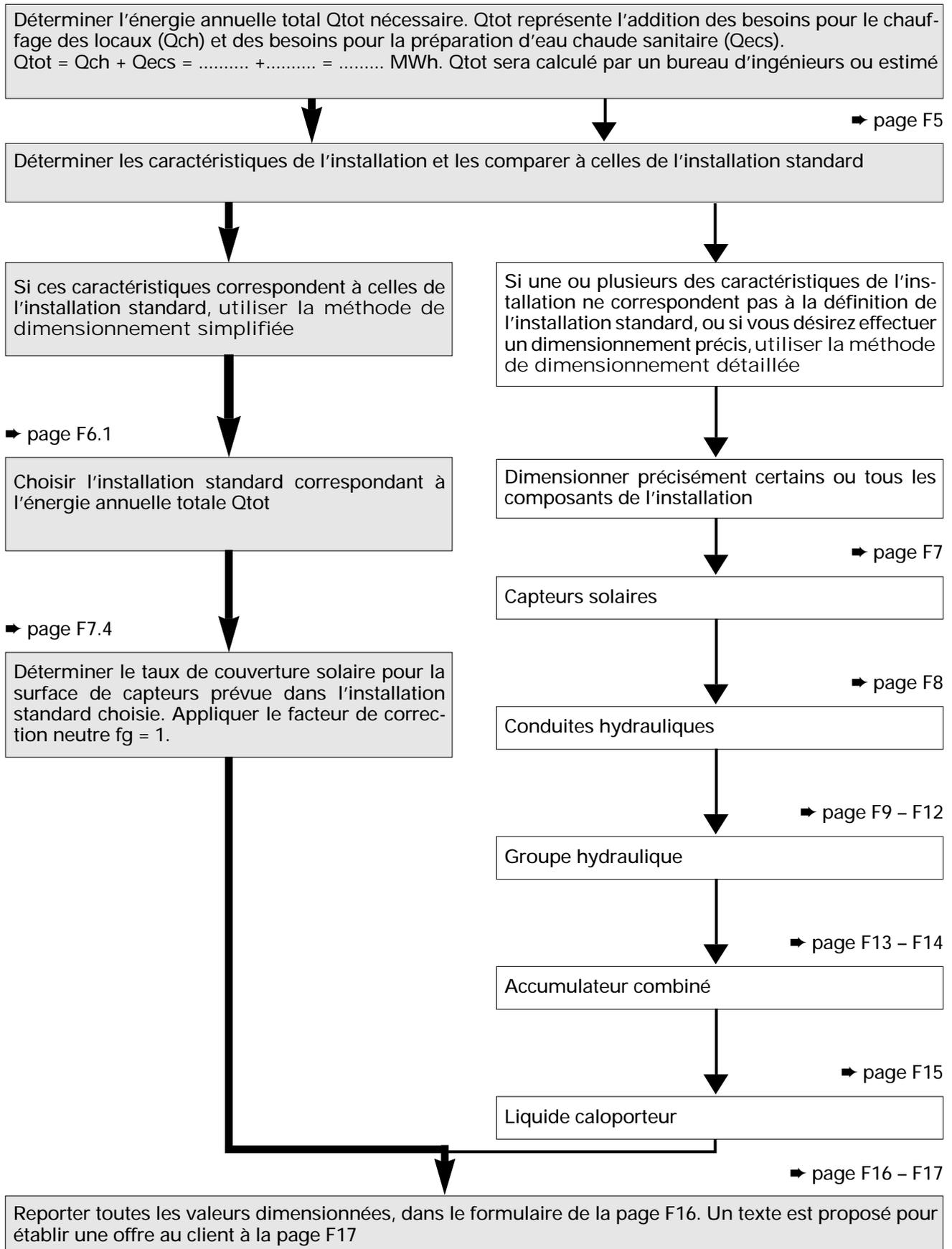
- Description de l'installation
 - Le circuit solaire réchauffe un accumulateur combiné (chauffage et eau chaude).
 - Si l'ensoleillement est insuffisant, l'appoint maintient toujours le haut de l'accumulateur au niveau de température souhaité; l'appoint nécessaire tant pour l'eau chaude que pour le chauffage est ainsi assuré à travers l'accumulateur.
 - Le retour du chauffage passe toujours à travers l'accumulateur afin d'y prélever de la chaleur solaire et de l'énergie d'appoint.
- Fonctionnement
 - Charge de l'accumulateur combiné par les capteurs solaires:
 - Si $S1 > S2$, le circulateur solaire P3 est enclenché
 - Appoint au solaire:
 - La chaudière d'appoint est commandée par la sonde S5. En cas de besoin, elle charge la partie supérieure de l'accumulateur pour y maintenir la température souhaitée (en général 55 - 65°C). La chaleur est véhiculée par l'enclenchement du circulateur P2 et par l'ouverture simultanée de la vanne V2 en position «a».
 - Décharge de l'accumulateur pour le chauffage des locaux:
 - Le retour du chauffage passe toujours, en débit variable, par l'accumulateur auquel il soutire de l'énergie solaire ou d'appoint. Une régulation automatique agissant en fonction de la température extérieure commande la vanne V1 afin de maintenir la température intérieure souhaitée.
- Avantages du système
 - Simplicité
 - Coût avantageux
 - Enclenchement de la chaudière d'appoint par périodes prolongées
- Inconvénients du système
 - L'énergie solaire n'est pas utilisée de façon optimale. Les capteurs solaires doivent fonctionner à un niveau de température relativement élevé et leur rendement diminue car:
 - Le retour du chauffage passe par l'accumulateur et chauffe sa partie inférieure.
 - L'accumulateur est déchargé lentement car le départ du chauffage est raccordé dans la zone maintenue en température par l'appoint. La place pour de nouveaux apports solaires dans la cuve n'est libérée que lentement.



Composants principaux de l'installation

- 1 Capteurs solaires
- 2 Conduites du circuit solaire
- 3 Groupe hydraulique compact
- 4 Accumulateur combiné
- 5 Liquide caloporteur antigel
- 6 Régulation
- 7 Appoint
- 8 Circuit d'eau sanitaire
- 9 Circuit de chauffage

Procédure à suivre pour le dimensionnement d'une installation



Définition de l'installation standard

Page	Données pour le dimensionnement	Unité	Installation standard	Valeurs recommandées
E7	1 Capteurs solaires Consommation d'eau chaude par personne et par jour Température de l'aller du chauffage pour la température extérieure la plus froide Inclinaison des capteurs - Plateau - Valais, Alpes, sud des Alpes Orientation des capteurs - Plateau - Valais, alpes, sud des Alpes Rendement des capteurs $\eta = 0.05$ Surface relative de capteurs (A_{rel})	l/j p à 55°C °C ° (degrés) ° (degrés) ° (degrés) ° (degrés) ° (degrés)	50 45 30-60 35-60 -45 est à +45 ouest -30 est à +45 ouest -30 est à +35 ouest	- <50 35-50 45-60 -30 est à +30 ouest -30 est à +45 ouest -30 est à +35 ouest
E8	2 Conduites hydrauliques Débit par m ² de capteur Proportion d'antigel Longueur des conduites Epaisseur d'isolation	l/h m ² % m mm	40-50 35-50 40-60 20-40	SF SF - 20-40
E9	3 Groupe hydraulique			
E10	Circulateur - débit par m ² de capteur - proportion d'antigel - surface de capteurs branchés en série	l/h m ² % m ²	40-50 35-40 SF	SF SF SF
E11	Vase d'expansion - Δh = différence de hauteur entre le point le plus haut de l'installation et le vase d'expansion - Δv_s = différence de hauteur entre le vase et la soupape - méthode de calcul	m m méthode	< 10 1 à -1 B	- - Bon C, SF
E12	Soupape de sécurité - Pans = pression nominale - P _c = pression de service autorisée dans les capteurs	bar bar	3 <2.5	- SF
E13	4 Accumulateur combiné Accumulateur pour chauffage et eau chaude - VS = volume solaire par m ² de capteurs - VA = volume d'appoint - VT = volume total	l/m ² l/personne l	40-60 40-60 VS + VA	60 60 VS + VA
E14	Echangeur de chaleur - ΔT_m = différence de température moyenne entre circuit solaire et chauffe-eau - surface par m ² de capteur	K m ² /m ²	5-15 0.2-0.25	10 0.2
D15	5 Liquide caloporteur Proportion d'antigel Contenance des capteurs	% l/m ²	35-50 < 2.3	SF SF

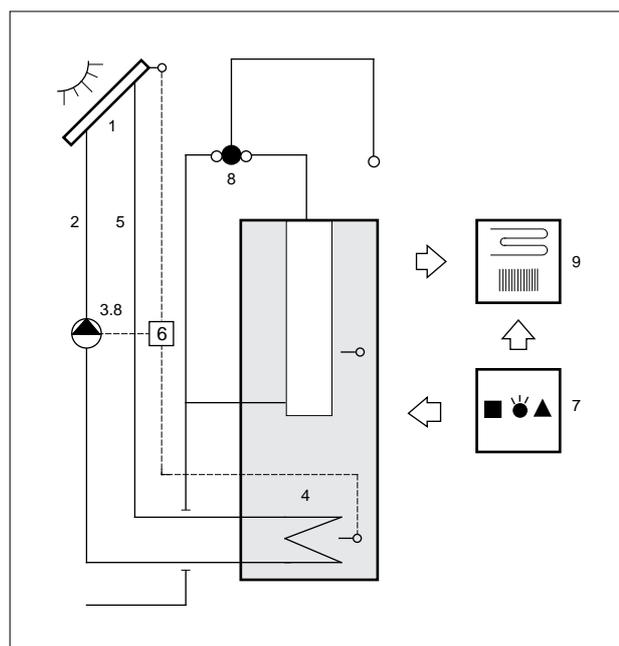
Note : SF = Donnée selon fournisseur des capteurs solaires

Installations standard prédimensionnées

Energie annuelle totale nécessaire tant pour le chauffage que pour l'eau chaude, Q_{tot} (MWh)	Surface de capteurs en m^2 , A_{rel} ($0.8 m^2/MWh/an$)	Diamètre de la tuyauterie du circuit solaire \varnothing	Débit du circulateur en l/h	Pression du circulateur, en mbar ($\times 0.01 = mCE$)	Vase d'expansion, type (méthode B)	Nombre d'utilisateurs	Accumulateur combiné chauffage et eau chaude, volume total VT, en litres	Echangeur de chaleur solaire, surface en m^2	Liquide caloporteur, quantité en litres
10	8	3/4"	400	350	80	<5	800	1.6	40
15	12	3/4"	600	250	110	<5	1000	2.4	55
20	16	1"	800	350	140	<6	1300	3.2	70
25	20	1"	1000	400	140	<8	1700	4.0	80
30	24	1"	1200	450	200	<8	1900	4.8	90
35	28	1"	1400	500	200	<10	2300	5.6	100
40	32	1"	1600	650	300	<10	2500	6.4	110
45	36	1 1/4"	1800	400	300	<10	2750	7.2	125
50	40	1 1/4"	2000	500	400	<10	3000	8.0	150

- Pression effective d'ouverture de la soupape de sécurité: 3 bar.
- Manomètre avec échelle de 0 à 4 bar.
- Les données nécessaires au dimensionnement de l'installation standard sont répertoriées à la page F5.
- Le taux de couverture solaire est à déterminer à l'aide du diagramme 1.05 de la page F7.4.

- Fonctionnement
Le fonctionnement est décrit en détail aux pages F3.1 et F3.2.



Eléments principaux de l'installation

- 1 Capteurs solaires
- 2 Conduites du circuit solaire
- 3 Groupe hydraulique compact
- 4 Accumulateur pour chauffage et eau chaude
- 5 Liquide caloporteur
- 6 Régulation
- 7 Appoint
- 8 Circuit d'eau sanitaire
- 9 Circuit de chauffage

Estimation de la consommation d'énergie annuelle totale (Qtot)

• Principales abréviations utilisées

- Qch = Consommation d'énergie annuelle pour le chauffage des locaux
- Qecs = Consommation d'énergie annuelle pour l'eau chaude sanitaire
- Qtot = Consommation d'énergie annuelle totale pour le chauffage et l'eau chaude

• Calcul estimatif

– Bâtiment existant chauffé au mazout :

Qtot = Consommation annuelle en litres x 0.01 MWh/litre
=.....x 0.01 =.....MWh

– Bâtiment existant chauffé au gaz :

Qtot = Consommation annuelle de gaz (en kWh)/1000
=...../1000 =MWh

– Bâtiment neuf, bien isolé :

Qch =
En plaine : surface chauffée brute en m² x 0.1 MWh/m²
=.....x.....=.....MWh

En montagne : surface chauffée brute en m² x 0.13 MWh/m²
=.....x.....=.....MWh

Qecs = Nombre d'utilisateurs x 1MWh/p
=.....x.....=.....MWh

Qtot = Qch + Qecs
=.....+.....=.....MWh

1 Capteurs solaires

1.01	Données pour le dimensionnement	Unité	Installation standard	Valeurs recommandées
	Consommation d'eau chaude par personne et par jour	l/jp à 55°C	50	50
	Température de l'aller du chauffage pour la température extérieure la plus basse	°C	45	<50
	Inclinaison des capteurs - Plateau - Valais, Alpes, sud des Alpes	° (degrés) ° (degrés)	30-60 35-60	35-60 45-60
	Orientation des capteurs - Plateau - Valais, alpes, sud des Alpes	° (degrés) ° (degrés)	-30 est à +45 ouest -30 est à +35 ouest	-30 est à +45ouest -30 est à +35 ouest
	Rendement des capteurs $\eta = 0.05$	%	50-65	**
	Surface relative théorique de capteurs (A_{relT})	m ² /MWh/an	0.6-1.0	0.8

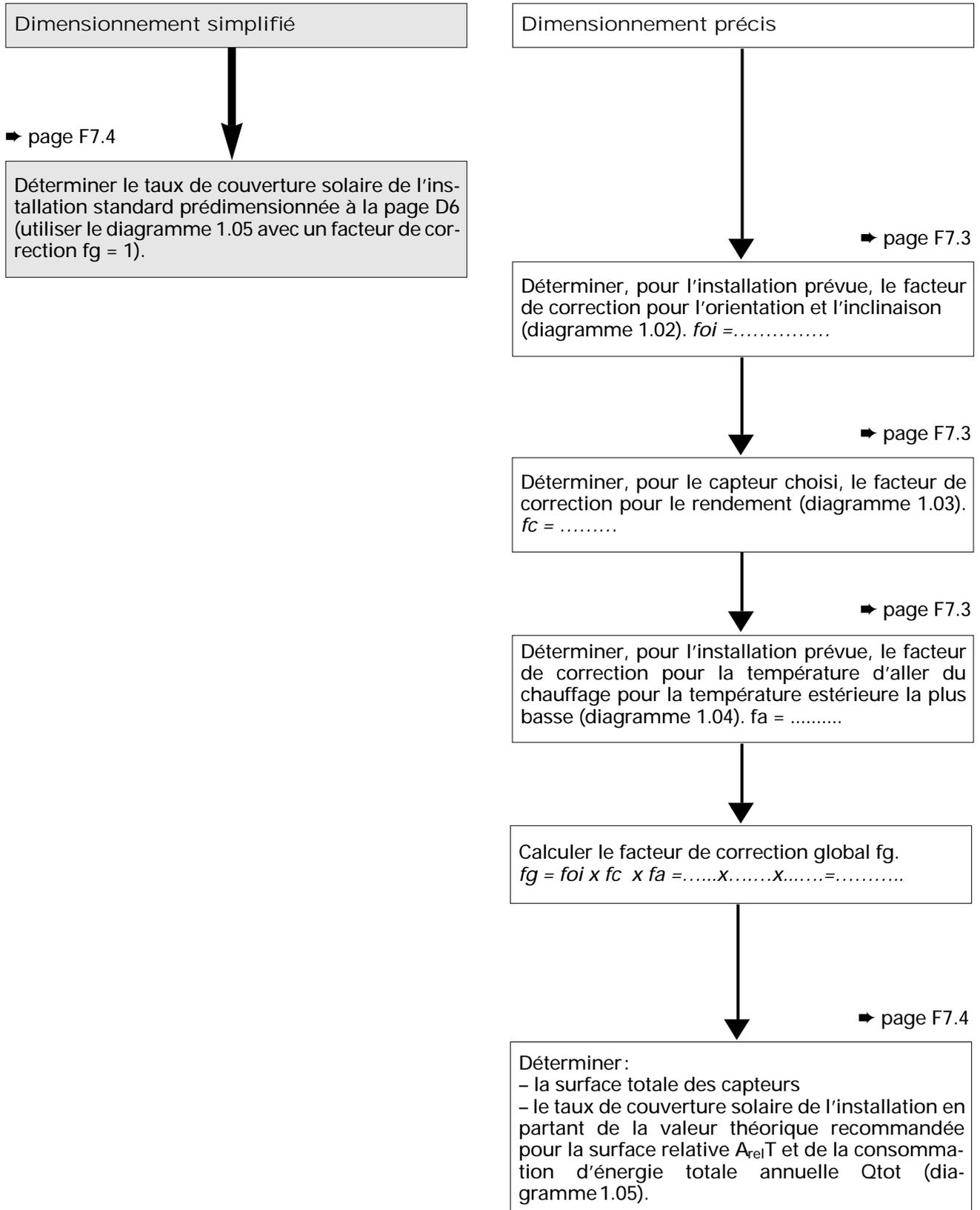
- Informations complémentaires à la méthode de dimensionnement
- Une surface de captage relative théorique (A_{relT}) supérieure à 1,2 m² par personne permet normalement de se passer d'appoint durant l'été.
- On arrondira la valeur de la surface de captage vers le haut, en fonction de la taille des capteurs choisis.
- Si le rendement de la production d'énergie d'appoint est faible il faudra assainir cette dernière en parallèle à la réalisation de l'installation solaire.

** Un rendement élevé des capteurs augmente l'apport de l'installation. Mais pour le choix des capteurs il faut aussi prendre en considération leur coût et leur qualité. Les caractéristiques des divers capteurs sont répertoriées dans le classeur « Performances des capteurs solaire thermique » édité par le technicum de Rapperswil (cf. chapitre B. Bases page 27, paragraphe 2.8.).

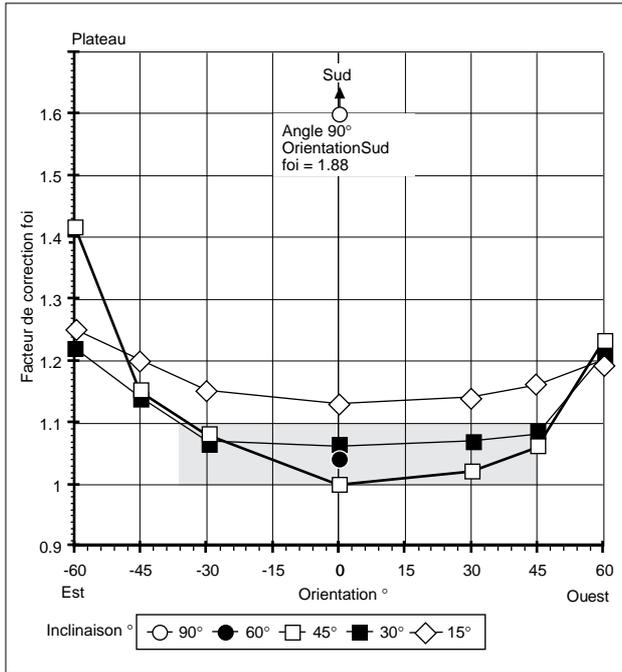
La zone grise du diagramme 1.05 définit un domaine dans lequel :

- Les caractéristiques de l'installation sont proches de l'optimum.
- Les installations ainsi dimensionnées sont correctes tant du point de vue technique qu'économique.

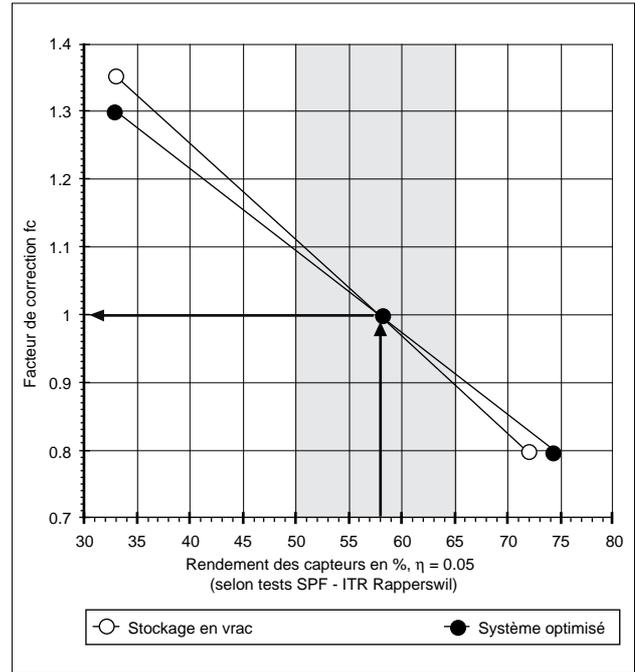
- Méthode pour le dimensionnement de la surface de capteurs solaires



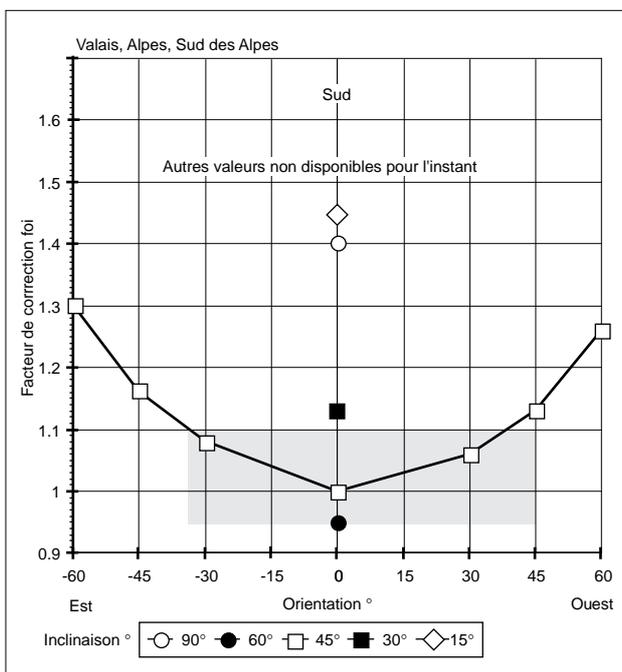
1.02a Facteur de correction pour diverses orientations et inclinaisons des capteurs (foi)



1.03 Facteur de correction pour divers rendements des capteurs (fc)

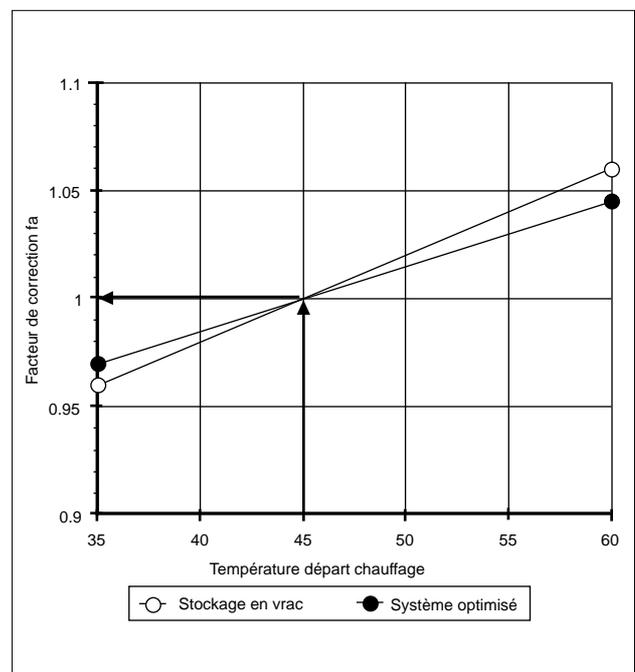


1.02b Facteur de correction pour diverses orientations et inclinaisons des capteurs (foi)



1.04 Facteur de correction pour différentes températures du départ chauffage (fa)

La température à prendre en compte est celle du départ chauffage lors de la température extérieure la plus basse.



1.05	Données pour le dimensionnement	Unité	Installation standard	Valeurs recommandées
	Surface relative théorique de capteurs ($A_{rel}T$)	$m^2/MWh/an$	0.6-1.0	0.8

1.05 Surface de captage et taux de couverture solaire par rapport à la consommation d'énergie annuelle

Comment utiliser le diagramme 1.05

Flèche A

- Déterminer le taux de couverture solaire à partir de la surface relative théorique des capteurs.

Flèche B

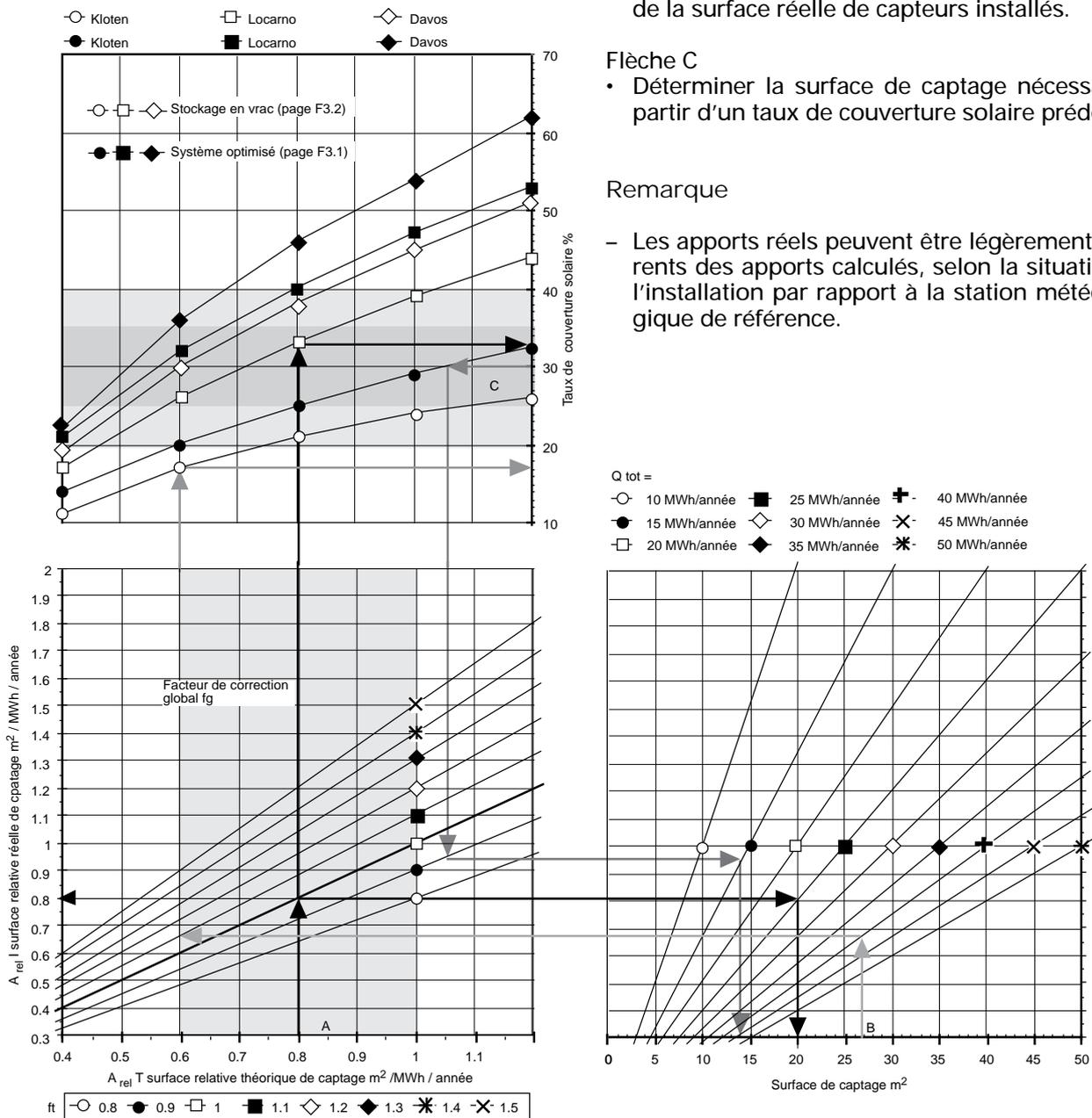
- Déterminer le taux de couverture solaire à partir de la surface réelle de capteurs installés.

Flèche C

- Déterminer la surface de captage nécessaire à partir d'un taux de couverture solaire prédéfini.

Remarque

- Les apports réels peuvent être légèrement différents des apports calculés, selon la situation de l'installation par rapport à la station météorologique de référence.



2 Conduites hydrauliques circuit solaire

2	Données pour le dimensionnement	Unité	Installation standard	Valeurs recommandées
	Débit par m ² de capteur	l/h m ²	40-50	SF
	Proportion d'antigel	%	35-50	SF
	Longueur des conduites	m	20-40	-
	Épaisseur d'isolation	mm	20-40	20-40
	Vitesse d'écoulement	m/s	0.3 - 1	0.3 - 1
	Perte de charge unitaire	mbar/m	-	-
	Perte de charge totale	mbar	100 - 150	< 150

Note : SF = Données selon fournisseur des capteurs solaires

2.1 Tuyauterie

Pour chaque installation standard, le diamètre des conduites a été prédéterminé; ces diamètres sont donnés à la page F6.

Pour un calcul détaillé de ce diamètre on procédera comme suit :

1. Déterminer le débit total du circuit solaire :
débit par m² de capteur (l/h m²) x surface de captage totale (m²)
 =..... x =..... l/h

2. Déterminer le diamètre des conduites en tenant compte des valeurs recommandées dans le tableau ci-dessus.

Les tables de pertes de charge se trouvent dans le chapitre H, aux pages H5.4, H5.5 et H5.6.

Type de tube.....
Diamètre.....

2.3 Isolation des conduites

Une épaisseur d'isolation des conduites à l'intérieur du bâtiment de 40 mm à la place de 20 mm augmente les apports solaires en moyenne de 0,2 à 0,4%.

Pour la détermination de l'épaisseur d'isolation il faut encore tenir compte des points suivants :

- le prix de l'isolation ;
- la place à disposition ;
- les règlements en vigueur dans la région.

Une table donnant les pertes de chaleur spécifiques de diverses tuyauteries isolées se trouve dans le chapitre H, aux pages H5.7 et H5.8.

3 Groupe hydraulique circuit solaire

Fonction

Tous les organes nécessaires au bon fonctionnement de l'installation sont regroupés ici.

Bases pour le dimensionnement

Le fournisseur des capteurs livre des groupes pré-fabriqués comprenant tous les composants nécessaires.

Pour choisir le bon groupe, il est nécessaire de prendre en compte les points énumérés dans le tableau 3.0.1.

Dimensionnement

Le fournisseur procède au dimensionnement en prenant en compte les points énumérés dans le tableau 3.0.1.

Pour un dimensionnement précis des composants du groupe, consulter les pages F10 à F12.

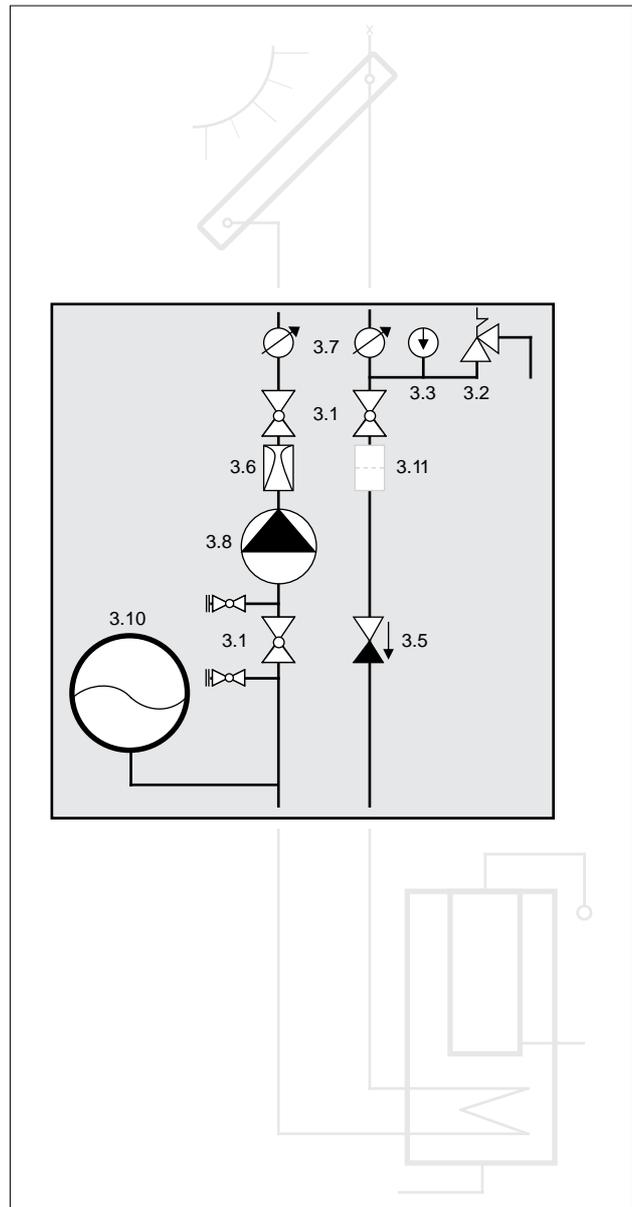


Figure 3.0.1 Composants du groupe hydraulique

- 3.1 Vannes d'arrêt
- 3.2 Soupape de sécurité
- 3.3 Manomètre
- 3.5 Clapet de retenue
- 3.6 Débitmètre
- 3.7 Thermomètre
- 3.8 Circulateur
- 3.10 Vase d'expansion
- 3.11 Filtre éventuel

Points à prendre en compte lors du choix d'un groupe hydraulique

- Marque et type de capteurs	.....
- Nombre de capteurs branchés en parallèle	.....
- Nombre de capteurs branchés en série	.....
- Longueur des conduites circuit solaire (aller + retour)	.....m
- Diamètre des conduites	.....
- Δh = différence de hauteur entre le point le plus haut de l'installation et le vase d'expansion	.....m
- Δvs = différence de hauteur entre le vase d'expansion et la soupape de sécurité	.....m
- Contenance totale du circuit capteur	.....l
- Marque et type de l'échangeur de chaleur solaire	.....

Tableau 3.0.1

3.8 Circulateur

3.8.1 Données pour le dimensionnement	Unité	Installation standard	Valeurs recommandées
Débit par m ² de capteur	l/h*m ²	40-50	SF
Proportion d'antigel	%	35-50	SF
Surface de capteurs branchés en série	m ²	SF	SF

Note : SF = Données selon fournisseur des capteurs solaires

• Dimensionnement

- Installation standard

Le circulateur est prédimensionné; vous trouverez ses caractéristiques à la page D6.

La pression du circulateur correspond à la perte de charge maximale admissible dans un circuit solaire (cf. tableau 3.8.2).

- Dimensionnement précis

1. Déterminer le débit total du circuit solaire :
débit par m² de capteur (l/h m²) x surface de captage totale (m²)
 =.....X..... =..... l/h

2. Déterminer la perte de charge du circuit solaire, selon les instructions données aux points a à c à la page D10.2 (résumé sur tableau 3.8.3 ci-dessous)
 =.....bar =.....mCE

3. Choisir le circulateur sur le catalogue d'un fournisseur.

3.8.2 Consommation d'énergie d'un circulateur

Perte de charge du circuit capteurs mbar	Perte de charge du circuit capteurs mCE	Puissance absorbée par le circulateur W
200	2	50
350	3.5	80
500	5	100
700	7	250

Plus la perte de charge du circuit solaire est faible, plus petite est la consommation d'énergie du circulateur.

Remarque

On pose souvent un circulateur à plusieurs vitesses. On peut alors régler le débit en le contrôlant à l'aide du débitmètre.

3.8.3 Pertes de charge dans le circuit solaire

Composant	Perte de charge unitaire mbar	Nombre ou longueur	Total mbar
a Capteurs solaires (nombre raccordé en série)			
b Tuyauterie			
c Echangeur de chaleur			
d Composants particuliers			
Perte de charge totale mbar (x 0.01 = mCE)			

Pertes de charge dans le circuit solaire

a. Perte de charge dans les capteurs

- Branchement en série

- Déterminer le débit total dans les capteurs
= *débit total du circuit solaire* = l/h
- Consulter les tables de pertes de charge données par le fournisseur des capteurs. La perte de charge R.....mbar y est déterminée. Attention aux unités utilisées!
- La perte de charge totale des capteurs est la somme de celle des capteurs raccordés en série
= $R \times \text{nombre de capteurs branchés en série}$
=x..... = mbar

- Branchement en parallèle

- Déterminer le débit total par capteur
= $\frac{\text{débit total l/h}}{\text{nombre de capteurs}}$
= / = l/h capteur
- Consulter les tables de pertes de charge données par le fournisseur des capteurs. La perte de charge R...mbar y est déterminée. Attention aux unités utilisées!
- La perte de charge totale des capteurs est égale à celle de chaque capteur raccordé en parallèle
=mbar

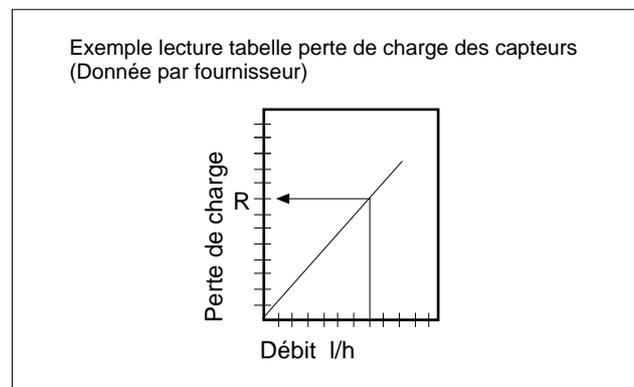
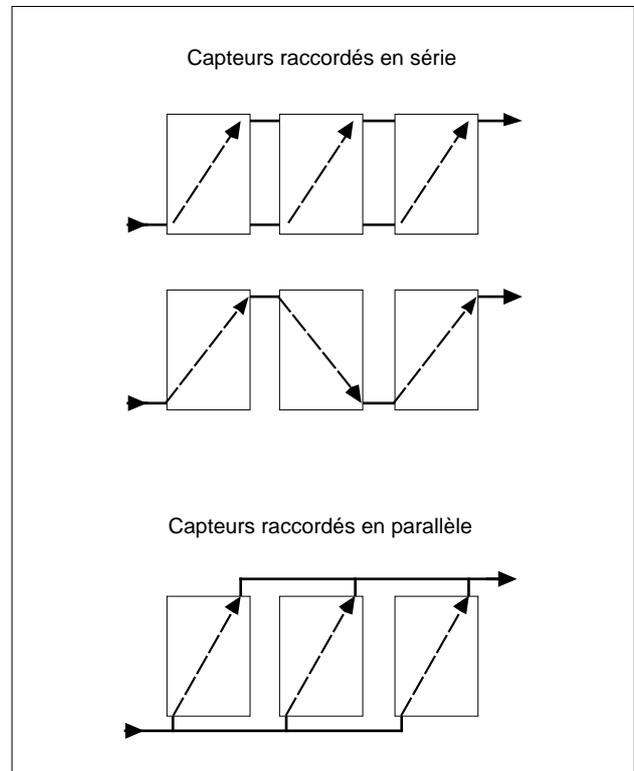
b. Perte de charge des conduites et de la robinetterie

- Déterminer la longueur des conduites du circuit solaire (aller + retour)
 $L_c = \dots\dots\dots m$
- Déterminer la longueur équivalente pour les coudes, la robinetterie, etc, selon la table correspondante au chapitre H, pages H 5.4. Estimation: $L_e = 50\%$ de L_c .
 $L_e = \dots\dots\dots m$
- Calculer la longueur totale
 $L_c + L_e = L_t = \dots\dots\dots m$
- Calculer le débit total dans le circuit solaire (en général 30 à 50 l/h m² capteur, selon donnée fournisseur capteur)
= $\text{surface de capteurs m}^2 \times \dots\dots \text{l/h m}^2 = \dots\dots \text{l/h}$
- Rechercher la perte de charge par m de conduite selon la table correspondante au chapitre H, pages H5.5 et H5.6
 $R = \dots\dots\dots \text{mbar/m}$
- Calculer la perte de charge totale de la tuyauterie:
 $L_t \times R = \dots\dots\dots \times \dots\dots = \dots\dots \text{mbar}$

c. Perte de charge de l'échangeur solaire

- Consulter la table de perte de charge ou la fiche technique du fournisseur de l'échangeur. Si l'on ne dispose que d'une table établie pour l'eau, majorer la perte de charge donnée de 30% pour l'utilisation de l'échangeur avec de l'eau additionné d'antigel.

Perte de charge de l'échangeur
= $R = \dots\dots\dots \text{mbar}$



3.10 Vase d'expansion

3.10.1 Données pour le dimensionnement	Unité	Installation standard	Valeurs recommandées
Δh = différence de hauteur entre le point le plus haut de l'installation et le vase	m	< 10	-
Δv_s = différence de hauteur entre le vase et la soupape	m	1 à -1	-
Méthode de calcul	méthode	B	B ou C, SF
Proportion d'antigel	%	35-50	SF

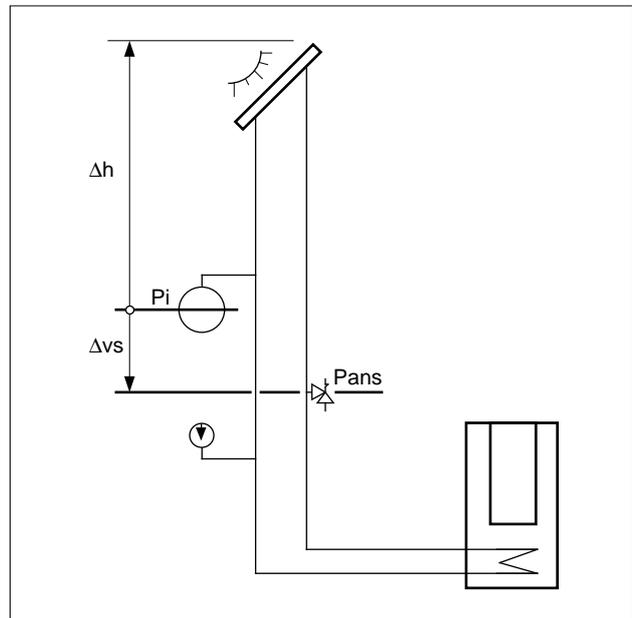
Note: SF = Données selon fournisseur des capteurs solaires

Légende

- Δh = Différence de hauteur entre le haut de l'installation et le vase d'expansionm
- Δv_s = Différence de hauteur entre le vase d'expansion et la soupape de sécuritém
- Pans = Pression nominale de la soupape de sécurité. Cette donnée est calculée selon les indications de la page F12. C'est la pression d'ouverture de la soupape de sécuritébar
- Pi = Pression initiale de gonflage dans le vase d'expansion = $(\Delta h/10) + 0.3 \text{ bar}$
= $(\dots\dots/10) + 0.3 = \dots\dots\text{bar}$

• Dimensionnement

1. Choisir la méthode de dimensionnement du vase A, B ou C
2. Déterminer la pression d'ouverture Pans de la soupape de sécurité selon les indications de la page F12 l.....
3. Calculer le volume de référence pour l'expansion selon le tableau 5.1.2, à la page E15.1 l.....
4. Calculer le volume d'expansion nécessaire sur le tableau 3.10.2 p. F11.2 l.....
5. Calculer la différence de hauteur entre le point le plus haut de l'installation et le vase d'expansion m.....
6. Choisir le vase d'expansion à l'aide du tableau «Volume utile d'un vase d'expansion» au chap. H, p. H5.10



Choix de la méthode de calcul (A, B ou C)

Protection de l'installation:	Méthode:
- Expansion en fonctionnement normal	A - B - C
- Pression de remplissage trop élevée	A - B - C
- Bref arrêt du circuit solaire (inférieur à une heure)	A - B - C
- Arrêt prolongé du circulateur (plusieurs heures)	B - C

Méthodes A et B: 35 à 50% d'antigel
Méthode C: 90% d'antigel

3.10.2 Volume utile nécessaire du vase d'expansion

Méthode	Pression finale admissible* Pfa bar	Proportion d'antigel %	Volume de référence litres	Pourcentage d'expansion %	Volume d'expansion litres
A	2.3*	35-50	Volume total du circuit solaire	10	.....
B	2.9*	35-50	Volume du circuit solaire sans les capteurs	10	.....
			Volume des capteurs	100	.....
			TOTAL		.....
C	3.9**	90	Volume total du circuit solaire	15	.....

* Valeurs calculées et indiquées pour une soupape de 3 bar

** Valeurs calculées et indiquées pour une soupape de 4 bar

Si une autre pression nominale de soupape Pans est prévue, calculer la pression finale admissible selon les indications ci-dessous:

$$\begin{aligned} \text{Méthode A: } Pfa &= (Pans \times 0.8) - 0.1 - (\Delta vs/10) \\ &= (\dots\dots\dots \times \dots\dots) - 0.1 - (\dots\dots/10) \\ &= \dots\dots \text{bar} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Méthode B: } Pfa &= Pans - 0.1 - (\Delta vs/10) \\ &= \dots\dots\dots - 0.1 - (\dots\dots/10) \\ &= \dots\dots \text{bar} \end{aligned}$$

Rappel

Pfa: Pression finale admissible dans le vase et dans l'installation à chaud.

Pans: Pression nominale de la soupape de sécurité = pression d'ouverture.
Pans est calculé selon les indications de la page F12.

Δvs: Différence de hauteur entre le vase et la soupape:

- si le vase est plus haut que la soupape Δvs est positif;
- si le vase est plus bas que la soupape Δvs est négatif.

3.2 Soupape de sécurité

3.3 Manomètre

3.2.1	Données pour le dimensionnement	Unité	Installation standard	Valeurs recommandées
Δcs		m	5-8	-
Pc		bar	>2.5	-
Pans		bar	3	-
Δsm		m	1 à-1	-
Echelle du manomètre		bar	0-4 bar	Pans x 1.2

Légende

- Δh = Différence de hauteur entre le haut de l'installation et le vase d'expansionm
- Δcs = Différence de hauteur entre le bas des capteurs et la soupape de sécuritém
- Δse = Différence de hauteur entre la soupape de sécurité et un élément du circuit solaire. Δse varie en fonction de l'emplacement de l'élément de référencem
- Δsm = Différence de hauteur entre le manomètre et la soupape de sécuritém
- Δvs = Différence de hauteur entre le vase d'expansion et la soupape de sécuritém
- Pans = Pression nominale de la soupape de sécurité. Cette donnée se trouve dans le catalogue du fournisseur de la soupape. C'est la pression d'ouverture de la soupape de sécuritébar
- Pc = Pression maximale dans les capteurs autorisée par le fournisseur. Cette donnée se trouve dans le catalogue du fournisseur des capteurs.....bar

• Dimensionnement de la soupape de sécurité

Il est judicieux de choisir une soupape de sécurité avec une pression nominale Pans la plus élevée possible. Cela permet en effet de pouvoir utiliser un modèle de vase d'une capacité réduite.

$$Pans_{maxi} = (\Delta cs/10) + Pc - 0.1$$

$$=/10) + - 0.1 = bar$$

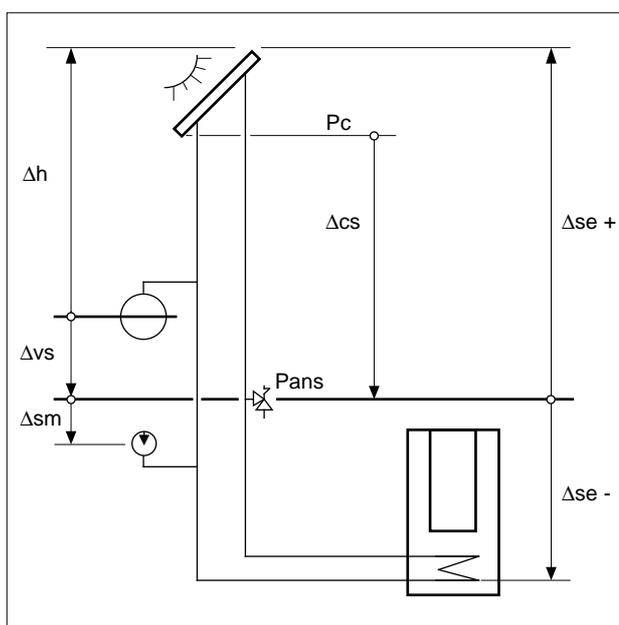
Dans la pratique on choisira une soupape standard du commerce à la valeur Pans immédiatement inférieure à la valeur calculée. Il est également possible d'installer une soupape spécialement tarée à Pans maxi.

Avant d'effectuer le choix définitif de la soupape il est encore nécessaire de prendre les précautions suivantes :

1. La pression de service du vase d'expansion autorisée par le constructeur doit être supérieure à la pression Pans de la soupape de sécurité.
2. Les composants du circuit solaire doivent résister à une pression de:

$$Pans + (+ \Delta se/10) = + (...../10) = bar$$

S'il n'est pas possible d'installer un vase ou des composants résistants à la valeur Pans prédéfini de la soupape, il faut choisir une soupape avec une



valeur Pans plus basse. On veillera toutefois à choisir la soupape dans les limites d'utilisation indiquées ci-dessous :

Méthode de calcul du vase	Pans soupape bar	Utilisable pour un Δh maximum de m
A	2,5	$13 - \Delta vs \dots = \dots$
A	3	$17 - \Delta vs \dots = \dots$
A	4	$25 - \Delta vs \dots = \dots$
B	2,5	$18 - \Delta vs \dots = \dots$
B	3	$23 - \Delta vs \dots = \dots$
B	4	$30 - \Delta vs \dots = \dots$

• Dimensionnement du manomètre

Le manomètre doit avoir une échelle d'indication de la pression dont le maximum est au moins égal à :

$$(Pans \times 1.2) + (\Delta sm/10) = (..... \times 1.2) + (...../10)$$

$$= bar$$

4 Accumulateur combiné pour chauffage et eau chaude

4.1.1	Données pour le dimensionnement	Unité	Installation standard	Valeurs recommandées
	VS = volume solaire par m ² de capteur	l/m ²	40-60	60
	VA = volume d'appoint par personne	l/p	40-60	60

- Description

L'accumulateur combiné est un stock d'eau de chauffage dans lequel est immergé soit un chauffe-eau, soit un échangeur de chaleur servant à la préparation directe de l'eau chaude. Son volume total est la somme des contenus de la réserve d'eau de chauffage et du chauffe-eau.

- Dimensionnement

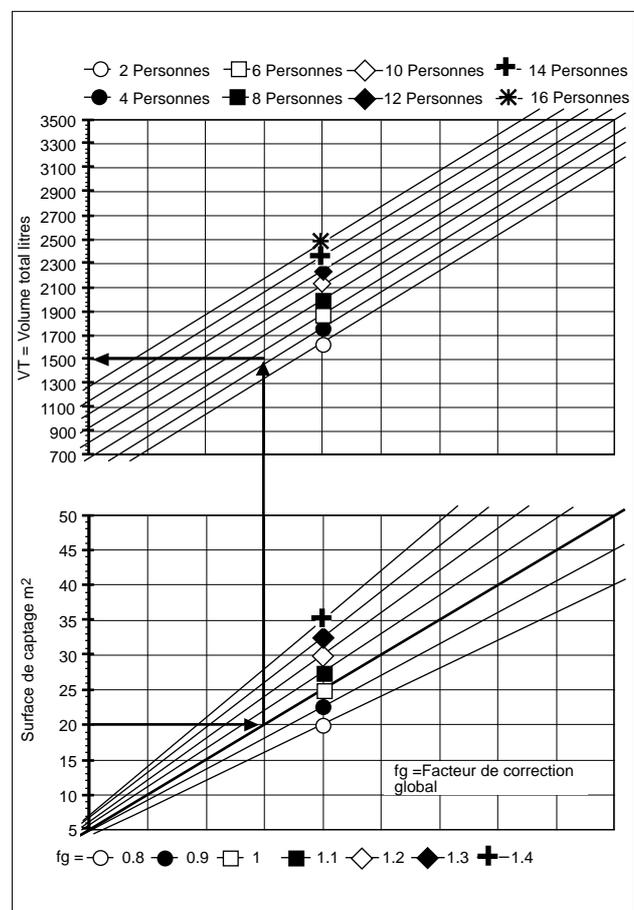
- Installation standard

Le volume total de l'accumulateur est prédimensionné; vous trouverez ses caractéristiques à la page F6.1

- Dimensionnement précis

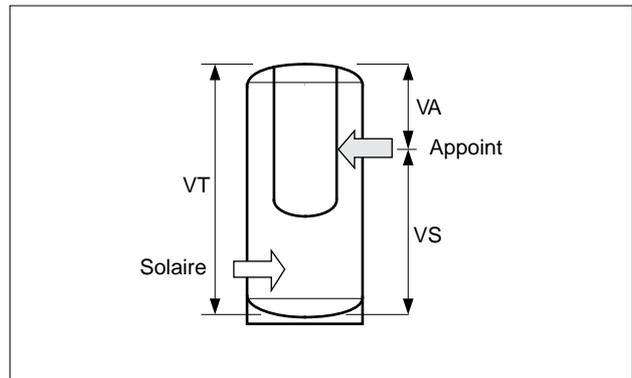
Utiliser le diagramme 4.1.2 qui a été établi sur la base des valeurs indiquées dans le tableau 4.1.1.

4.1.2 Volume total VT de l'accumulateur combiné chauffage et eau chaude



Attention !

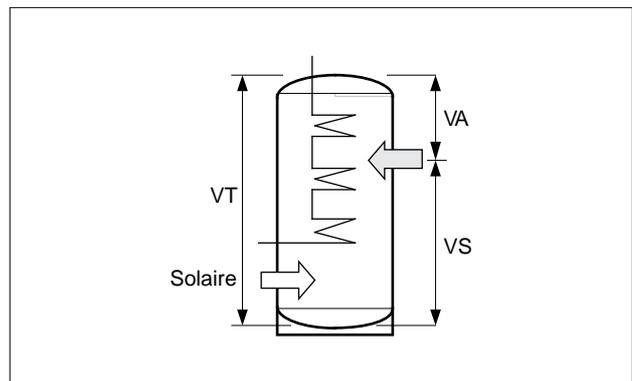
- Si la production d'eau chaude se fait à l'aide d'un chauffe-eau bain-marie, il faut que la contenance de ce dernier soit suffisante pour couvrir les points de consommation.
- Si la production d'eau chaude se fait à l'aide d'un échangeur immergé, il faut que la puissance d'échange de ce dernier soit suffisante pour couvrir les points de consommation.
- Si l'appoint est fait par une chaudière à bois, il faudra éventuellement augmenter le volume de l'accumulateur pour que ce dernier puisse également stocker de l'énergie fournie par la chaudière lorsque celle-ci fonctionne à pleine puissance.



Accumulateur combiné chauffage et sanitaire avec chauffe-eau bain-marie

Remarques

- Le volume de stockage influence le rendement des capteurs. Un accumulateur trop petit conduit à une élévation de la température moyenne des capteurs. L'acuité des problèmes de surchauffe en été dépend également fortement du volume de stockage. Il est donc déconseillé de choisir un accumulateur avec un volume VS plus petit que 60 l/m^2 de capteur.
- Le taux de couverture solaire baisse considérablement si le volume solaire de l'accumulateur est plus petit que 50 l/m^2 de capteur. Mais un volume solaire dépassant 60 l/m^2 de capteur n'augmente pas ce taux de couverture de manière significative.



Accumulateur combiné chauffage et sanitaire avec serpentins de production d'eau chaude immergés

4.2 Echangeur de chaleur solaire

4.2.1	Données pour le dimensionnement	Unité	Installation standard	Valeurs recommandées
	$\Delta T_m = (T_{1m} - T_{2m})$	K	5-15	10
	Surface/m ² de capteur	m ² /m ²	0.2-0.25	0.2

Informations utiles au dimensionnement

Le tableau 4.2.2 montre les différences d'efficacité d'une installation solaire en fonction de la différence de température ΔT_m :

- Une faible différence de température améliore l'efficacité de l'installation.
- Une grande différence de température diminue cette efficacité.

T_{1m} = température moyenne des capteurs (circuit primaire).

T_{2m} = température moyenne du chauffe-eau à proximité immédiate de l'échangeur (circuit secondaire).

ΔT_m = écart entre T_{1m} et T_{2m} .

4.2.2 Influence du choix du ΔT_m de l'échangeur sur l'efficacité de l'installation							
$\Delta T_m (T_{1m}-T_{2m})$	K	5	10	15	20	25	
Variation de l'efficacité de l'installation solaire	%	3.5	0	-3.5	-7	-10	

• Dimensionnement

- Installation standard
La surface est prédimensionnée ; vous trouverez ses caractéristiques à la page F6.
- Dimensionnement précis
A l'aide des diagrammes 4.2.3 ou 4.2.4 à la page F14.2

L'efficacité d'un échangeur dépend de multiples facteurs et l'installateur ne pourra que difficilement l'estimer. Pour cette raison, le type d'échangeur et ses caractéristiques sont normalement calculés par le fournisseur.

Quelques règles générales

- On obtient un bon rendement de l'échangeur si la vitesse d'écoulement à l'intérieur des tubes est de l'ordre de 0.5 à 1.5 m/s

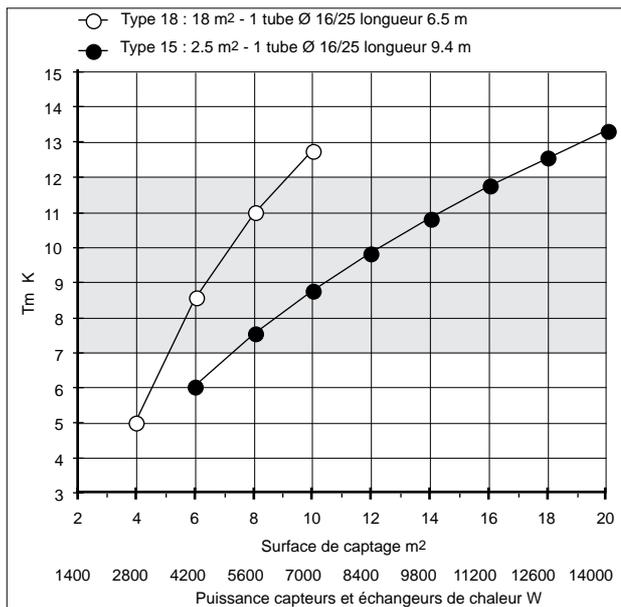
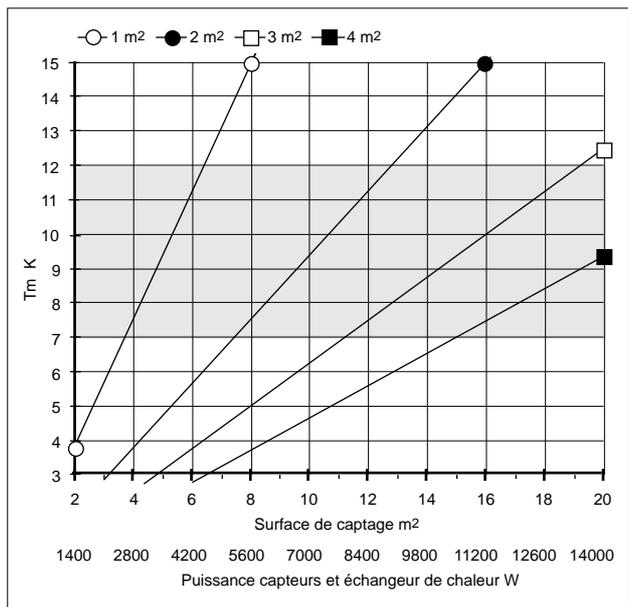
- Echangeurs à tubes lisses :
le coefficient de transfert thermique est compris entre 400 et 750 W/m²K.
Dimensionner un tel échangeur à l'aide du diagramme 4.2.3, page F14.2.
- Echangeurs à tubes ailetés :
le coefficient de transfert thermique est compris entre 300 et 500 W/m²K
Dimensionner un tel échangeur à l'aide du diagramme 4.2.4, page F14.2

Plusieurs fournisseurs utilisent les mêmes modèles d'échangeurs à tubes ailetés. Aussi le diagramme 4.2.4 donne directement le type d'échangeur en fonction de la différence moyenne de température ΔT_m .

4.2.3 Choix d'un échangeur à tubes lisses

4.2.4 Choix d'un échangeur à tubes ailettés

Tableau établi avec un coefficient de transfert thermique de 400 W/m² de surface d'échange.



Information pour tableaux 4.2.3 et 4.2.4

ΔT_m (K) = Ecart de température entre T1m et T2m (voir page E14.1)

Liquide caloporteur:

Proportion de 35 à 50% de glycol additioné d'eau.

5 Liquide caloporteur

5.1.1	Données pour le dimensionnement	Unité	Installation standard	Valeurs recommandées
	Contenance des capteurs	l/m ²	< 2.3	SF
	Longueur des conduites	m	20-40	-
	Proportion d'antigel	%	35-50	SF

Note: SF = Données selon fournisseur des capteurs solaires

- Dimensionnement
 - Installation standard
Le contenu du circuit solaire est prédimensionné ; vous trouverez ces caractéristiques à la page F6.
 - Dimensionnement précis
 1. Déterminer le contenu de chaque élément de l'installation à l'aide du tableau 5.1.2, points a à d.
 2. Effectuer le total intermédiaire I.
 3. Effectuer le total intermédiaire II.
 4. Déterminer le vase d'expansion, selon la méthode décrite à la page F11, sur la base du total II.
 5. Déterminer le contenu initial du vase, après son remplissage à froid, selon le tableau 5.1.3 et le reporter sur le tableau 5.1.2 en e.
 6. Effectuer le total général III.

5.1.2 Contenu du circuit solaire

No	Composant	Contenu unitaire litres	Unités	Nombre	Contenu total par composant litres
a1	Tuyauterie Ø		m		
a2	Tuyauterie Ø		m		
a3	Tuyauterie Ø		m		
b	Echangeur solaire		pce	1	
c	Eléments particuliers				
I	Volume du circuit solaire sans les capteurs				
d	Capteurs solaires		pce		
II	Volume total du circuit solaire sans le vase d'expansion				
e	Contenu initial du vase après remplissage à froid (tableau 5.1.3)		pce	1	
III	Volume total du circuit solaire y compris le vase d'expansion				

5.1.3 Contenu initial en eau d'un vase d'expansion, après remplissage à froid de l'installation

Type de vase et contenu initial en litres																
Δh -m	Pi-bar	12	18	25	35	50	80	110	140	200	300	400	500	600	750	900
1	0.4	1.5	2.4	3.3	4.6	5.9	9.8	13.8	18.6	27.8	38.3	48.8	62.5	75.1	91.1	109.4
2	0.5	1.4	2.3	3.1	4.3	5.5	9.2	12.9	17.5	26.1	36.1	45.9	58.8	70.7	85.7	102.9
3	0.6	1.3	2.1	2.9	4.1	5.2	8.7	12.2	16.5	24.7	34.1	43.4	55.6	66.7	81.0	97.2
4	0.7	1.3	2.0	2.7	3.9	4.9	8.2	11.6	15.7	23.4	32.3	41.1	52.6	63.2	76.7	92.1
5	0.8	1.2	1.9	2.6	3.7	4.7	7.8	11.0	14.9	22.2	30.7	39.0	50.0	60.1	72.9	87.5
6	0.9	1.1	1.8	2.5	3.5	4.5	7.5	10.5	14.2	21.1	29.2	37.2	47.6	57.2	69.4	83.3
7	1.0	1.1	1.7	2.4	3.4	4.3	7.1	10.0	13.5	20.2	27.9	35.5	45.5	54.6	66.2	79.5
8	1.1	1.0	1.7	2.3	3.2	4.1	6.8	9.6	12.9	19.3	26.7	33.9	43.5	52.2	63.4	76.1
9	1.2	1.0	1.6	2.2	3.1	3.9	6.5	9.2	12.4	18.5	25.6	32.5	41.7	50.1	60.7	72.9
10	1.3	1.0	1.5	2.1	3.0	3.8	6.3	8.8	11.9	17.8	24.5	31.2	40.0	48.1	58.3	70.0
11	1.4	0.9	1.5	2.0	2.8	3.6	6.0	8.5	11.4	17.1	23.6	30.0	38.5	46.2	56.0	67.3
12	1.5	0.9	1.4	1.9	2.7	3.5	5.8	8.1	11.0	16.4	22.7	28.9	37.0	44.5	54.0	64.8
13	1.6	0.9	1.4	1.9	2.6	3.4	5.6	7.9	10.6	15.9	21.9	27.9	35.7	42.9	52.0	62.5
14	1.7	0.8	1.3	1.8	2.5	3.2	5.4	7.6	10.3	15.3	21.1	26.9	34.5	41.4	50.2	60.3
15	1.8	0.8	1.3	1.7	2.5	3.1	5.2	7.3	9.9	14.8	20.4	26.0	33.3	40.0	48.6	58.3
16	1.9	0.8	1.2	1.7	2.4	3.0	5.1	7.1	9.6	14.3	19.8	25.2	32.3	38.8	47.0	56.5
17	2.0	0.8	1.2	1.6	2.3	2.9	4.9	6.9	9.3	13.9	19.2	24.4	31.3	37.5	45.5	54.7
18	2.1	0.7	1.2	1.6	2.2	2.8	4.7	6.7	9.0	13.5	18.6	23.7	30.3	36.4	44.2	53.0
19	2.2	0.7	1.1	1.5	2.2	2.8	4.6	6.5	8.8	13.1	18.0	23.0	29.4	35.3	42.9	51.5

Δh = Différence de hauteur entre le haut de l'installation et le vase d'expansion [m]

Pi = Pression initiale de gonflage dans le vase d'expansion [bar]

Récapitulation des données techniques

Page	Données		Unité	Valeur
	Besoins en eau chaude sanitaire			
	Nombre d'utilisateurs		p (personnes)	
	Consommation journalière à 55°C		l/j	
	Consommation annuelle d'énergie			
	Consommation pour le chauffage Q _{ch}		MWh/an	
	Consommation pour l'eau chaude Q _{ecs}		MWh/an	
	Consommation totale Q _{tot}		MWh/an	
F7	1 Capteurs solaires			
	Marque			
	Type			
	Surface utile par capteur		m ²	
	Nombre de capteurs		pce	
	Surface utile totale		m ²	
	Surface relative théorique	AreIT	m ² /MWh/an	
	Orientation		°	
	Inclinaison		°	
	Facteur de correction pour l'orientation et l'inclinaison	Foi		
	Rendement des capteurs $\eta = 0.05$		%	
	Facteur de correction pour capteur	Fc		
	Facteur de correction global	Fg		
	Taux de couverture solaire		%	
F8	2 Conduites hydrauliques			
	Matériau			
	Longueur (aller + retour)		m	
	Débit par m ² de capteur		l/h	
	Débit total du circuit solaire		l/h	
	Proportion d'antigel		%	
	Diamètre			
F10	3.8 Circulateur			
	Débit total du circuit solaire		l/h	
	Perte de charge du circuit solaire		mbar	
	Perte de charge du circuit solaire		mCE	
	Marque			
	Type			
	Puissance absorbée		W	

Récapitulation des données techniques (suite)

Page	Données		Unité	Valeur
F11	3.10 Vase d'expansion			
	Différence de hauteur capteurs/vase	Δh	m	
	Pression initiale du vase	P_i	bar	
	Méthode de calcul (A, B ou C)			
	Volume d'expansion			
	Type			
F12	3.2 Soupape de sécurité			
	Pression nominale Pans		bar	
	3.3 Manomètre			
	Echelle		bar	
F13	4 Accumulateur combiné pour chauffage et eau chaude			
	Volume total	VT	l	
	Volume du chauffe-eau		l	
	Volume d'eau de chauffage		l	
	Volume par m ² de capteurs		l/m ²	
F14	4.2 Echangeur de chaleur solaire			
	Type			
	ΔT_m (T1m - T2m)		K	
	Surface par m ² de capteur		m ² /m ²	
F15	5 Liquide caloporteur			
	Type			
	Proportion d'antigel		%	
	Protection contre le gel		°C	
	Contenu de l'installation		l	

Exemple d'offre

Référence:	N° offre.....	Date.....
Système:		

Description	Unité	Nombre	Prix	Total
<p>Capteurs solaires</p> <p>Capteurs solaires marque type.....</p> <p>Surface utile m²/capteur, soit au total..... m²</p> <p>Test IT Rapperswil N°</p> <p>Rendement $\eta = 0.05$.....%</p> <p>Composition du capteur:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Cadre - Isolation thermique - Couverture transparente - Absorbeur - Revêtement de l'absorbeur <p>Fixations et raccords</p>	pièce	.....	.....	.....
<p>Accumulateur combiné pour eau chaude et chauffage</p> <p>Accumulateur marque.....type.....</p> <p>Volume total VT..... litres</p> <p>Volume du chauffe-eau litres (ou serpentins de production instantanée surface .....m²)</p> <p>Volume d'eau de chauffage litres</p> <ul style="list-style-type: none"> - Revêtement intérieur..... - Isolation thermique..... - Echangeur de chaleur solaire, type - Surface d'échange m² - Echangeur de chaleur d'appoint, type - Surface d'échange m² - Corps de chauffe électrique type puissance kW <p>réchauffement de litres en heures</p>	pièce	.....	.....	.....
<p>Groupe hydraulique</p> <p>Groupe hydraulique compact, Ø.....</p> <p>2 thermomètres, 1 soupape de sécurité avec manomètre</p> <p>2 vannes d'arrêt, 2 robinets de vidange et remplissage</p> <p>1 clapet de retenue</p> <ul style="list-style-type: none"> - Circulateur marque type..... - Vase d'expansion marque type..... 	pièce	.....	.....	.....
<p>Régulation</p> <p>Régulateur par températures différentielles</p> <p>marque.....type.....</p> <p>y c. sonde capteurs et sonde plongeante pour le chauffe-eau</p> <p>.....</p> <p>.....</p>	pièce	.....	.....	.....

Exemple d'offre (suite)

Référence:	N° offre.....	Date.....
Système:		

Description	Unité	Nombre	Prix	Total
Liquide caloporteur Type Proportion.....% Protection contre le gel.....°C Contenu du circuit solaire..... litres	litres	.....	.....	.....
Conduites hydrauliques Conduites entre les capteurs et 'accumulateur combiné - longueur.....m - conduites en.....diamètre..... - isolation en.....épaisseur.....mm Conduites entre les appareils en chaufferie Ø..... isolées.....mm	unit	.....	.....	.....
Transport et montage - Montage des capteurs solaires - Pose des appareils en chaufferie - Pose des conduites isolées - Rinçage, remplissage et purge de l'installation - Travail technique: - schémas hydraulique et électrique - mise en service et instructions de service	unit	.....	.....	.....

Montant total de l'offre Fr.

Taux de couverture solaire prévisible

- Taux de couverture chauffage et sanitaire%

Travaux non compris:

- Raccordements sanitaires
- Distribution de chaleur pour le chauffage habitation
- Raccordements électriques
- Engin pour la montée des matériaux sur la toiture
- Ferblanterie
- Si nécessaire, protections selon prescriptions CNA

Annexé à cette offre:

- Documentation
- Schéma hydraulique
-

G Montage, mise en service, entretien

Schéma de l'installation	G	158
Table des matières	G	159
Montage	G1	161
Mise en service	G2	179
Entretien	G3	189

Schéma de l'installation

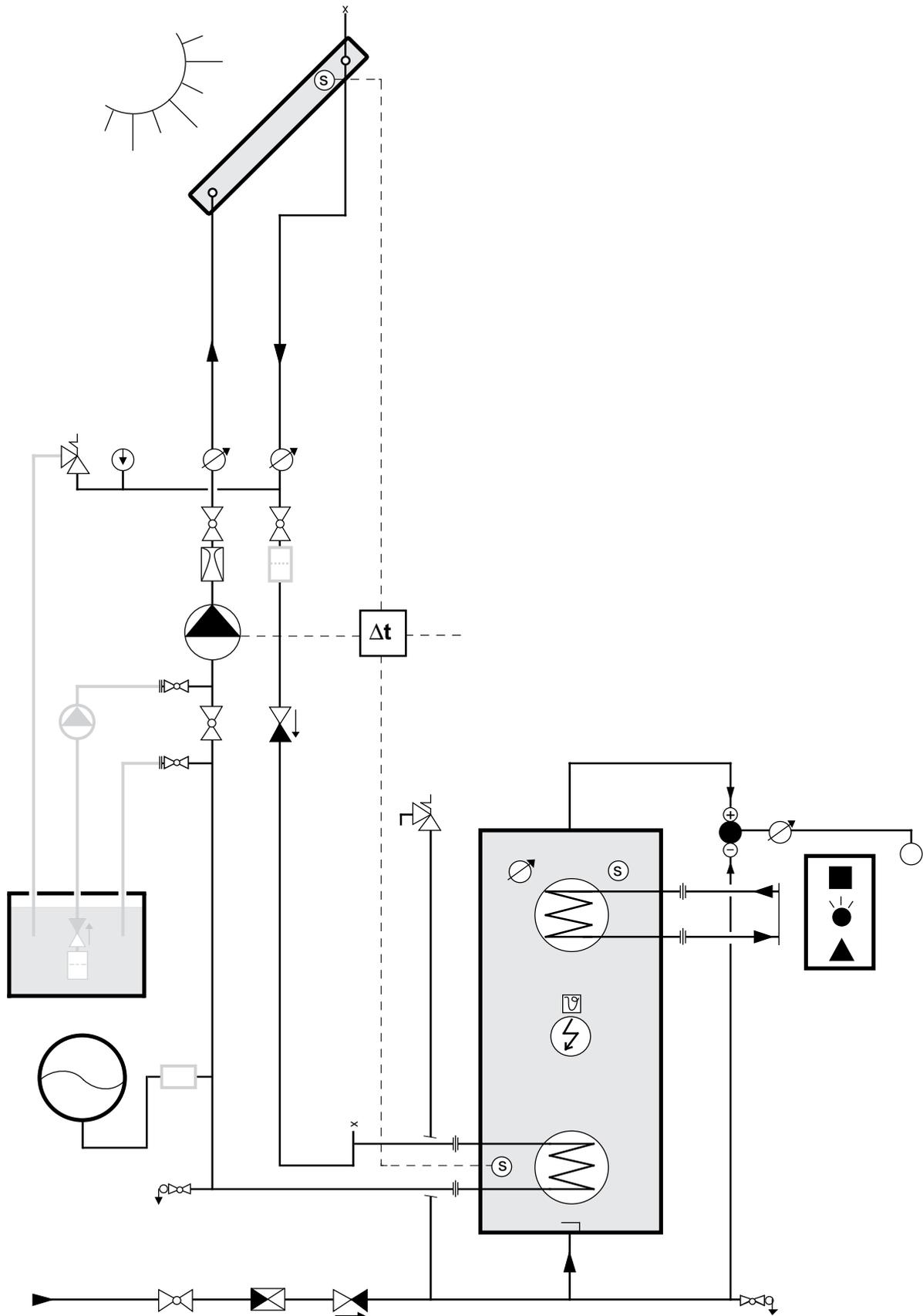


Table des matières

Schéma de l'installation	G	158
1 Montage	G1	161
1.1 Capteurs solaires	G1.1	161
1.1.1 Capteurs intégrés à un toit en pente	G1.1	161
1.1.2 Capteurs posés sur un toit en pente	G1.3	163
1.1.3 Capteurs posés sur un toit plat ou au sol	G1.4	164
1.1.4 La neige et les capteurs	G1.6	166
1.2 Raccords et conduites hydrauliques	G1.7	167
1.2.1 Mode de raccordement des capteurs	G1.7	167
1.2.2 Raccords des capteurs	G1.8	168
1.2.3 Connexion de l'échangeur	G1.9	169
1.2.4 Connexion du vase d'expansion	G1.10	170
1.2.5 Isolation des conduites	G1.10	170
1.3 Robinetterie	G1.11	171
1.3.1 Soupape de sécurité	G1.11	171
1.3.2 Circulateur	G1.11	171
1.3.3 Purgeurs	G1.12	172
1.3.4 Débitmètre	G1.12	173
1.4 Accumulateur	G1.13	173
1.5 Régulation	G1.14	174
1.5.1 Sonde des capteurs	G1.14	175
1.5.2 Sonde de l'accumulateur	G1.16	176
1.6 Raccordements sanitaires	G1.17	177
1.7 Protection contre la surchauffe de l'installation	G1.18	178
2 Mise en service	G2	179
2.1 Préliminaires	G2.1	179
2.2 Matériel nécessaire	G2.1	179
2.3 Vérifications avant le remplissage	G2.3	180
2.4 Pression initiale du vase	G2.4	181
2.5 Contrôles et réglages régulation	G2.4	181
2.6 Rinçage, remplissage et purge de l'installation	G2.6	183
2.6.1 Rinçage	G2.6	183
2.6.2 Rinçage et remplissage avec le liquide antigel	G2.6	184
2.7 Mise en fonction	G2.7	186
2.8 Instructions de service à l'utilisateur	G2.8	187
2.8.1 Description de l'installation	G2.8	187
2.8.2 Réglages	G2.8	187
2.8.3 Manipulations	G2.8	187
2.8.4 Points importants	G2.8	187
2.8.5 Documents à remettre à l'utilisateur	G2.8	187
2.9 Procès-verbal de mise en service ou de contrôle	G2.9	188
3 Entretien	G3	189
3.1 Contrôles	G3.1	189
3.2 Arrêt de l'installation	G3.1	189
3.3 Complément l'antigel	G3.1	189
3.4 Défauts de fonctionnement et remèdes	G3.4	190



1 Montage

1.1 Capteurs solaires

Dans ce chapitre sont traités les points auxquels il faut faire particulièrement attention lors du montage d'une installation solaire.

Les montages suivants sont décrits :

- capteurs intégrés à un toit en pente ;
- capteurs posés sur un toit en pente ;
- capteurs posés sur un toit plat ou au sol.

D'autres possibilités de montage existent :

- en parapet de balcon ;
- contre un mur ;
- en revêtement de façade, etc.

Pour ces emplois spécifiques, ainsi que pour tous les détails d'exécution, consulter le fournisseur des capteurs.



Figure g01

1.1.1 Capteurs intégrés à un toit en pente

Les capteurs sont intégrés à la toiture. On ne posera pas de tuiles sous le champ des capteurs.

Pour réaliser ce type de montage, on peut utiliser :

- des capteurs monoblocs livrés assemblés par le fournisseur. Des raccords préfabriqués assurent l'étanchéité entre les éléments (voir aussi point 2.4, chapitre B) ;
- des capteurs fournis en pièces détachées, à assembler sur le chantier (voir aussi point 2.5, chapitre B).

Ce type de montage peut être mis en œuvre pour des bâtiments neufs ou existants. Dans ce dernier cas, les tuiles sont enlevées à l'emplacement des capteurs, avant le montage.

Pour qu'il n'y ait pas de condensation dans la toiture, il est important de prévoir un espace d'aération entre les capteurs et la sous-toiture. Pour cette raison, le contre lattage et le lattage sont souvent réalisés de façon traditionnelle. Toutefois, pour un toit neuf et si le cadre des capteurs est autoporteur, il est possible d'espacer le lattage sous les capteurs.

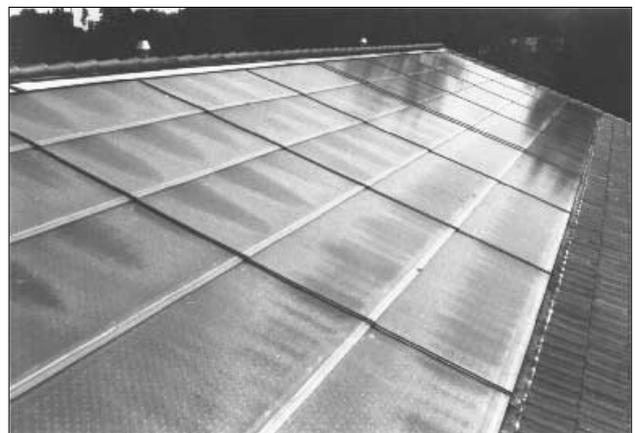
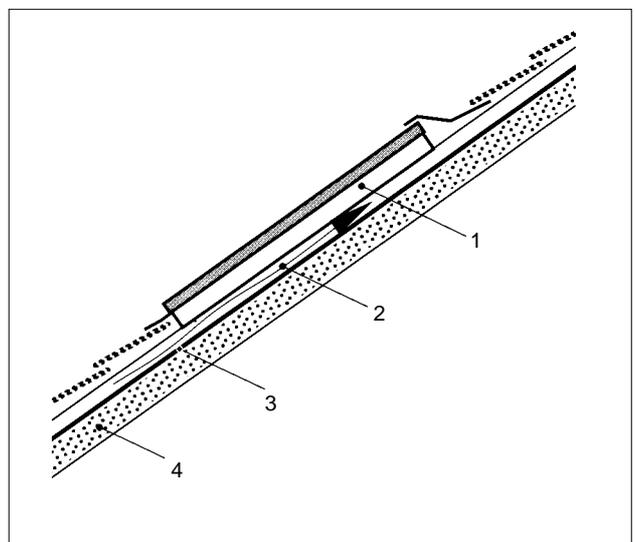


Figure g02

Figure g03

1. Tuiles
2. Capteurs solaires
3. Aération toiture
4. Sous-couverture
5. Chevrons



- Avantages de l'intégration des capteurs en toiture
 - les capteurs dépassent peu le niveau des tuiles (comparable à une fenêtre de toiture). A condition que la couverture transparente du capteur soit un vitrage, c'est une solution très esthétique ;
 - la surface à disposition est bien utilisée ;
 - la neige peut facilement glisser ;
 - on économise les tuiles ;
 - pas de pénétration de conduites à travers la toiture (moins de problèmes d'étanchéité) ;
 - pas de problèmes de fixation ;
 - aucune conduite n'est exposée au soleil et aux intempéries ;
 - seul le vitrage du capteur est soumis aux intempéries ;
 - pas de refroidissement de l'arrière du capteur par le vent.

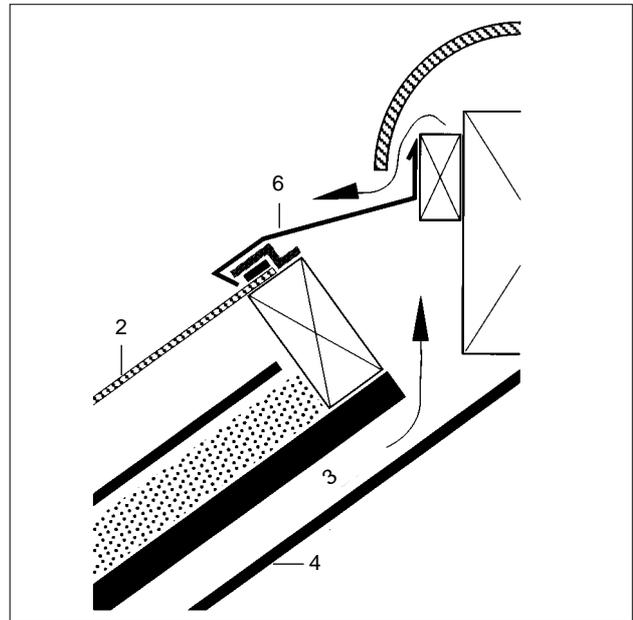


Figure g04 Exemple détail ferblanterie supérieure d'un capteur solaire intégré en toiture

- Une intégration des capteurs demande une bonne organisation pour l'intervention sur le chantier
 - Le chantier est-il accessible pour la livraison des capteurs ?
 - Le lattage de la toiture est-il terminé ?
 - Un engin de levage éventuellement nécessaire est-il disponible ?
 - L'échafaudage ou autre moyen de sécurité est-il en place ?
 - Le ferblantier est-il averti et disponible pour effectuer les raccords d'étanchéité sur le pourtour du champ de capteurs ?

Si la maison est habitée, il faudra limiter au maximum le temps nécessaire à l'intervention.

- Précautions
 - Suivre à la lettre les instructions du fournisseur des capteurs.
 - Les raccords hydrauliques du champ des capteurs doivent répondre aux exigences formulées au point 1.1, chapitre C. Après le montage, ces raccords ne seront plus facilement accessibles et il est important de les installer avec soin.
 - La ferblanterie de pourtour du champ de capteur doit être compatible avec le cadre du capteur.

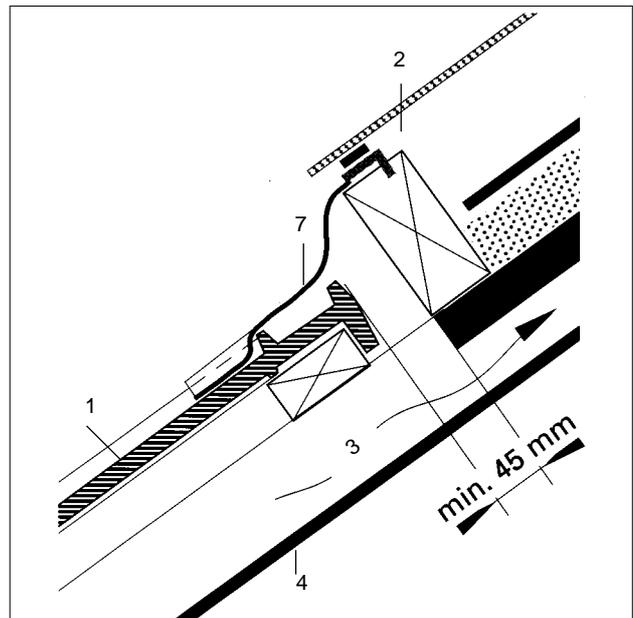


Figure g05 Exemple détail ferblanterie inférieure d'un capteur solaire intégré en toiture

1. Tuiles
2. Capteurs solaires
3. Aération toiture
4. Sous-couverture
6. Ferblanterie supérieure
7. Ferblanterie inférieure

1.1.2 Capteurs posés sur un toit en pente

Les capteurs sont posés au-dessus de la toiture. Les tuiles ou autre revêtement toiture sont conservés.

Cette solution est intéressante pour les toits revêtus d'éternit ou lorsque l'on désire donner aux capteurs une inclinaison plus prononcée que celle de la toiture.

Pour réaliser ce type de montage, on utilise des capteurs monoblocs livrés assemblés par le fournisseur.

- Avantages
 - Intervention minimale sur le toit existant.
 - Une ferblanterie n'est pas nécessaire.

- Inconvénients
 - Selon les cas, cette solution n'est pas très esthétique.
 - Si les capteurs sont installés selon la même inclinaison que la toiture, de la glace peut se former sous les capteurs en hiver.
 - Entretien de la toiture plus difficile.

- Précautions
 - Les points d'accrochage à la toiture et les supports capteurs doivent être solides et bien fixés pour résister tant à la charge de la neige qu'aux coups de vent.
 - Les capteurs doivent être parfaitement étanches à l'eau ce qui est particulièrement important lors de la fonte de la neige.
 - Les conduites hydrauliques situées à l'extérieur doivent être protégées du rayonnement solaire et des intempéries.

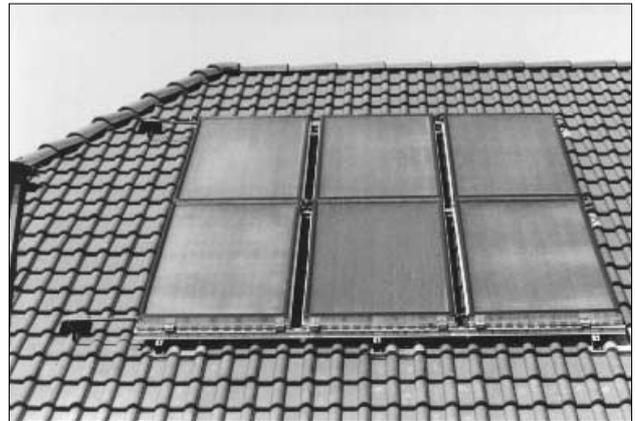


Figure g06



Figure g07

1.1.3 Capteurs posés sur un toit plat ou au sol

Les capteurs sont posés sur des supports inclinés, sur le revêtement de toiture ou au sol.

Cette solution est bien sûr à envisager lorsque l'on dispose d'un toit plat. Elle est également intéressante lorsque des critères techniques ou esthétiques empêchent la pose de capteurs en toiture inclinée.

Pour réaliser ce type de montage, on utilise des capteurs monoblocs livrés assemblés par le fournisseur. Celui-ci dispose également de supports préfabriqués en métal ou en béton pour diverses inclinaisons des capteurs.

- Avantages
 - Si la place à disposition le permet, l'orientation peut être optimisée.
 - L'angle d'inclinaison idéal peut être choisi en fonction de l'usage des capteurs.
 - Le montage est rapide et simple.
 - Les capteurs et leurs raccords hydrauliques sont en tout temps accessibles.

- Précautions
 - Les éventuels points d'accrochage à la toiture et les supports des capteurs doivent être solides et bien fixés pour résister tant à la charge de la neige qu'aux coups de vent.
 - D'éventuels percements à la toiture pour des fixations ou des passages de tuyauterie doivent être soigneusement étanchés.
 - Des supports en béton moulés sont pratiques car ils font office de lest et ne nécessitent pas de fixation à la toiture, donc pas de percement de celle-ci (fig. g09 et g10)). Si ce type de support est utilisé, on comparera le poids total du champ de capteurs à la résistance de la toiture. Une natte de protection du revêtement de toiture doit être installée sous le socle.
 - Les conduites hydrauliques situées à l'extérieur doivent être protégées du rayonnement solaire et des intempéries.
 - Veiller à ne pas endommager l'étanchéité de la toiture. Si ce revêtement venait à être endommagé lors du montage, le signaler immédiatement à l'architecte ou à l'étancheur.
 - Protéger la toiture lors du transport ou du stockage de matériel.
 - Tenir compte de l'épaisseur possible de la couche de neige et de la neige qui glisse des capteurs.
 - Tenir compte du fait que les capteurs et les conduites doivent être facilement démontables pour d'éventuels travaux de réparation de toiture.



Figure g08

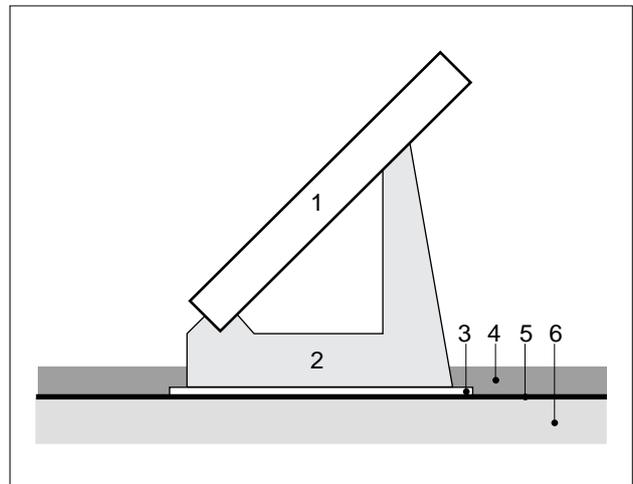


Figure g09

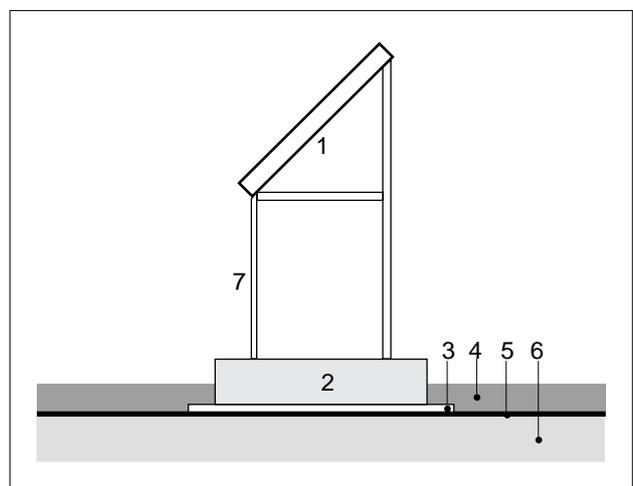


Figure g10 Socle béton et structure métallique réhaussée

- | | |
|------------------------|----------------------------|
| 1. Capteur solaire | 5. Etanchéité toiture |
| 2. Socle béton | 6. Isolation toiture |
| 3. Natte de protection | 7. Réhaussement métallique |
| 4. Gravier | |

- Ombre :

- Il faut faire attention à l'ombre portée par une rangée de capteurs sur la suivante.
- La distance nécessaire entre les diverses rangées dépend de la hauteur des capteurs, de leur pente et de la hauteur minimale du soleil prise en compte pour les calculs (fig. g11).
- En général on évitera toute ombre pour une hauteur du soleil supérieure à 20-25° (hauteur du soleil le 21 décembre à midi : 19°).

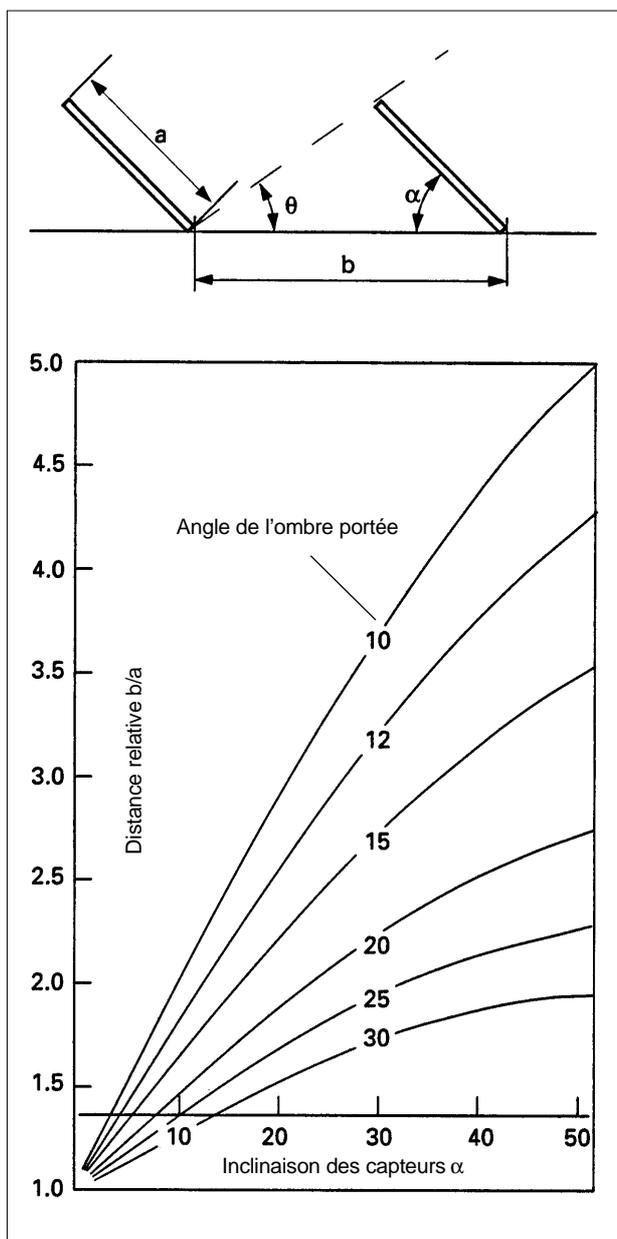


Figure g11 Calcul de l'ombre portée entre les rangées de capteurs

$$b = a \times \text{distance relative}$$

1.1.4 La neige et les capteurs

Il est important de veiller à ce que la neige puisse glisser des capteurs. Pour cela quelques précautions sont nécessaires :

- Capteurs en toiture
 - Dans les régions fortement enneigées, veiller à avoir une pente suffisante: au moins 30°.
 - Ne pas monter de barres à neige juste sous les capteurs.
 - Eviter tout élément de fixation devant les capteurs.

- Capteurs sur toit plat ou au sol
 - Dans les régions fortement enneigées, veiller à installer les capteurs avec une pente suffisante, au moins 30°.
 - Déterminer la hauteur des supports capteurs en tenant compte de l'épaisseur de la couche de neige probable (fig. g12).
 - Rendre l'utilisateur de l'installation attentif aux risques de dégât aux vitrages des capteurs lors du déblaiement de la neige sur ceux-ci.

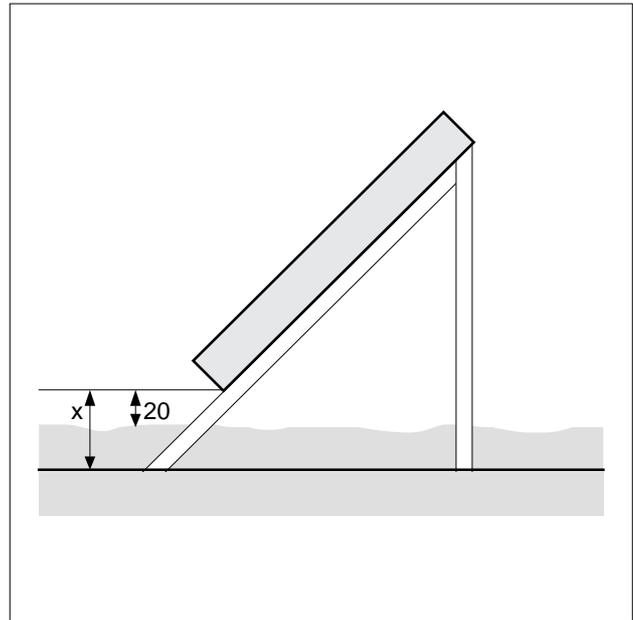


Figure g12
x hauteur prévisible de neige + 20 cm



Figure g13

1.2 Raccords et conduites hydrauliques

1.2.1 Mode de raccordement des capteurs

Les capteurs peuvent être raccordés en série, en parallèle ou en combinaison des deux. Ces différentes solutions n'ont pas d'influence sur le rendement des capteurs à condition que le débit rapporté à la surface de capteur soit identique et que chaque capteur soit irrigué de la même manière.

Des capteurs en parallèle ou des groupes de capteurs en parallèle seront, en règle générale, raccordés selon le système Tichelmann (fig. g15).

Ce système permet un débit identique à travers tous les capteurs, ce qui optimise leur rendement. Avec un tel système il n'est pas nécessaire de prévoir des organes de réglage.

Le nombre de capteurs connectés en série déterminera la perte de charge du champ des capteurs. Pour cette raison, le mode de raccordement prévu lors du dimensionnement ne doit pas être modifié lors du montage, à moins de redimensionner le circulateur.

Une variante au système Tichelmann est la pose de collecteur/distributeur aux capteurs d'un diamètre plus important et muni d'un élément de réglage à chaque rangée de capteurs (fig. g16).

Cette solution peut être utilisée pour diminuer l'encombrement de la tuyauterie ou, dans certains cas, pour diminuer les coûts.

- Précautions
 - Étudier le raccordement des capteurs de façon à pouvoir purger l'installation facilement.
 - Tenir compte de la dilatation des matériaux

Dilatation des matériaux en mm par mètre			
Ecart de température	1K	100K	200K
Cuivre	0.017	1.7	3.4
Fer noir	0.012	1.2	2.4
Acier inoxydable	0.014	1.4	2.8
Aluminium	0.024	2.4	4.8

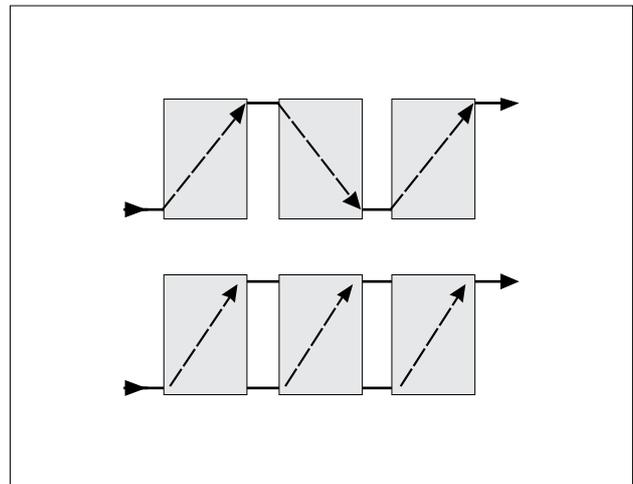


Figure g14 Raccordement des capteurs solaires en série

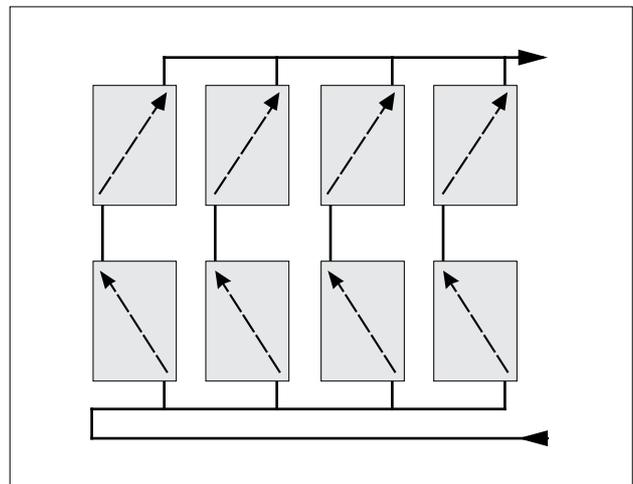


Figure g15 Raccordement en parallèle, Tichelmann

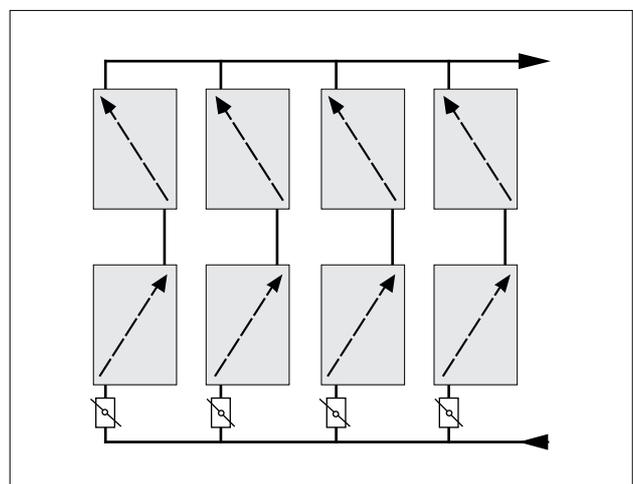


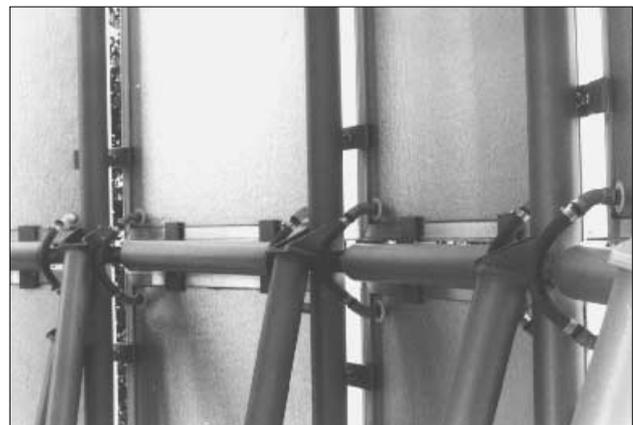
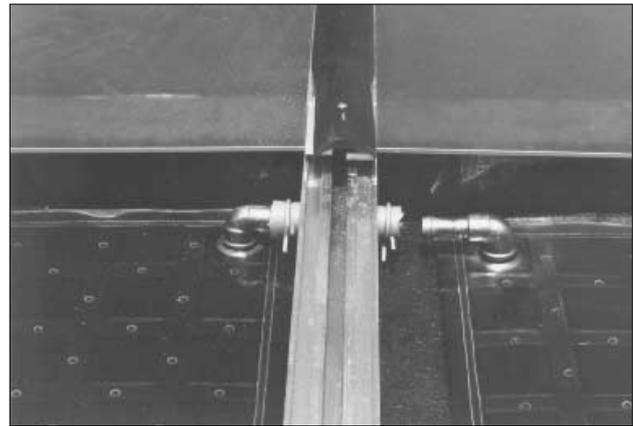
Figure g16 Raccordement en parallèle, avec régulateur de débit

1.2.2 Raccords des capteurs

Les raccords pour capteurs sont généralement livrés par le fournisseur de ces derniers.

Les exigences pour les raccords et les différents types sont décrits au point 1.1, page C1.1, chapitre C.

- Précautions
 - N'utiliser que les raccords fournis ou agréés par le fournisseur des capteurs.
 - Le montage doit être réalisé avec soin selon les indications du fournisseur.
 - L'intérieur des bagues de serrage des raccords en tuyau silicone doit être enduit de savon avant la mise en place et le serrage.
 - Lors de raccords brasés, veiller à ne pas endommager les joints d'étanchéité du pourtour des pipes de sortie des capteurs.
 - Toute connexion doit en tout temps être facilement démontable.
 - Tenir compte de la dilatation des matériaux.



Dilatation des matériaux en mm par mètre

Ecart de température	1K	100K	200K
Cuivre	0.017	1.7	3.4
Fer noir	0.012	1.2	2.4
Acier inoxydable	0.014	1.4	2.8
Aluminium	0.024	2.4	4.8

Figure g17
 Figure g18
 Figure g19
 Figure g20
 Exemples de raccordements entre capteurs

1.2.3 Connexion de l'échangeur

Afin de garantir la puissance d'échange nominale, l'échangeur de chaleur doit toujours être raccordé selon le principe du contre-courant.

Dans le cas d'un échangeur immergé, c'est à dire monté dans l'accumulateur, la conduite venant des capteurs doit être connectée au raccord supérieur (fig. g21).

Le côté secondaire d'un échangeur externe à l'accumulateur doit être raccordé de façon à respecter la stratification à l'intérieur de la cuve (fig. g22). Ce raccordement judicieux garanti également un bon rendement des capteurs puisque ceux-ci travaillent au plus bas niveau de température possible.

- Précautions

- Un effet thermosiphon conduisant à une certaine décharge de l'accumulateur peut se produire à l'intérieur de la tuyauterie raccordée à l'échangeur. Un siphon ou une soupape de retenue sur la conduite d'arrivée des capteurs permet d'éviter ce phénomène.
- Il est recommandé de placer une vidange au point bas de l'installation.

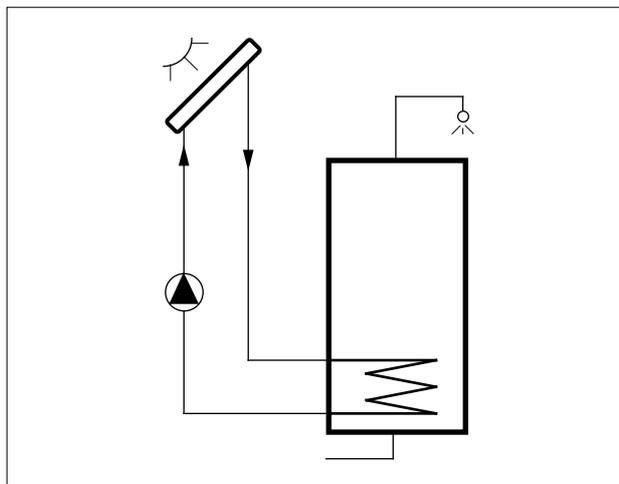


Figure g21 Connexion d'un échangeur immergé

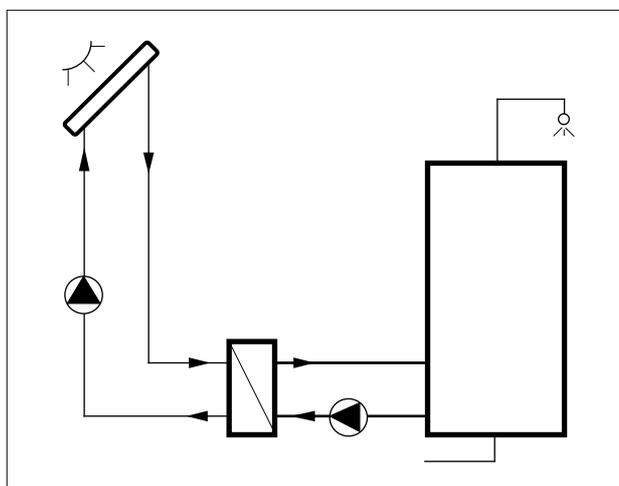


Figure g22 Connexion d'un échangeur externe

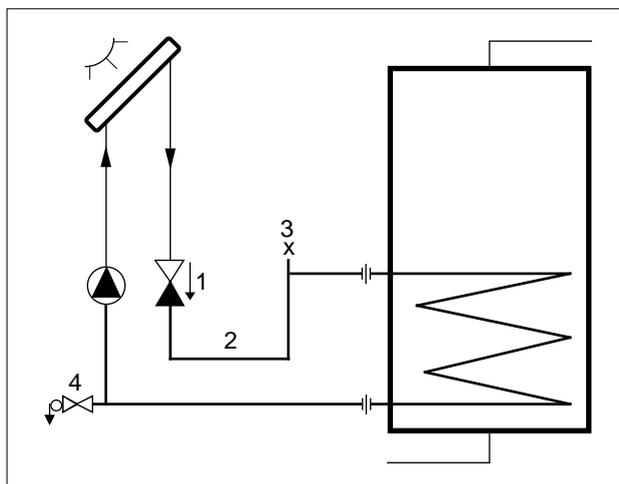


Figure g23

- | | |
|-----------------------|------------|
| 1. Soupape de retenue | 3. Purge |
| 2. Siphon | 4. Vidange |

1.2.4 Connexion du vase d'expansion

Le raccordement du vase d'expansion devra être fait sur la conduite de retour aux capteurs, c'est à dire à l'endroit où le liquide caloporteur est le plus froid.

L'expérience a démontré que des vases raccordés ainsi ont une durée de vie comparable aux vases d'expansion montés dans des installations de chauffage classiques.

Toutefois, par sécurité et pour augmenter la durée de vie probable du vase, on peut installer un réservoir de refroidissement avant le vase d'expansion. Sa capacité doit correspondre à l'expansion normale, soit 7 à 8 % du volume total du circuit.

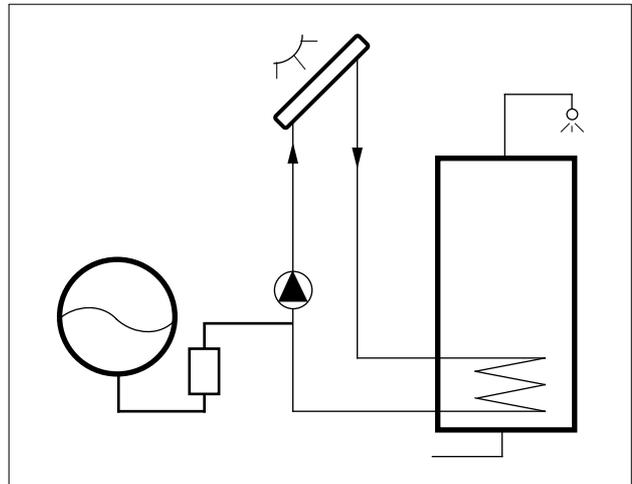


Figure g24

1.2.5 Isolation des conduites

L'isolation est à poser de manière à éviter toute discontinuité en particulier aux endroits suivants :

- supports et fixations ;
- robinetterie et raccords :
- compensateurs de dilatation éventuels.

Il est important de s'assurer que l'isolation des conduites extérieures ne puisse pas être mouillée. Il est recommandé de protéger l'isolation contre l'eau et le rayonnement UV à l'aide d'un manteau en alu ou autre matériau également résistant. Les manchons d'extrémités et les raccords doivent être étanchés (par un joint silicone par exemple). Une étanchéité parfaite étant difficile à garantir, il est conseillé de prévoir des trous en partie inférieure qui permettront l'écoulement de l'eau qui aurait réussi à pénétrer dans l'isolation.



Figure g15

1.3 Robinetterie

1.3.1 Soupape de sécurité

La soupape de sécurité doit être montée sans raccord d'arrêt entre le champ des capteurs solaires et la première vanne d'arrêt du groupe hydraulique, sur la conduite d'arrivée des capteurs (chaud).

Certains fournisseurs de capteurs prennent toutefois le risque d'installer un organe d'arrêt avant la soupape de sécurité sur leurs groupes hydrauliques. Cet organe est manœuvrable uniquement avec un outil. Il permet de procéder à l'éventuel nettoyage d'une impureté dans le siège de la soupape, sans vidanger tout le circuit des capteurs.

La pression effective d'ouverture de la soupape doit être déterminée avec soin. Elle dépend en particulier de la hauteur de l'installation (voir pages D12, E12, F12).

Même si l'antigel utilisé est non toxique il ne doit pas être rejeté dans l'environnement. D'autre part, ce liquide est relativement cher. Pour ces raisons, l'écoulement de la soupape ne doit jamais être raccordé à l'égout. Il doit être relié à un bac de rétention, par exemple un estagnon ou un tonneau, qui permettra sa récupération en cas d'ouverture de la soupape.

1.3.2 Circulateur

Le circulateur doit être installé sur la conduite de retour aux capteurs, en aval de l'échangeur, afin de le protéger contre d'éventuelles surchauffe.

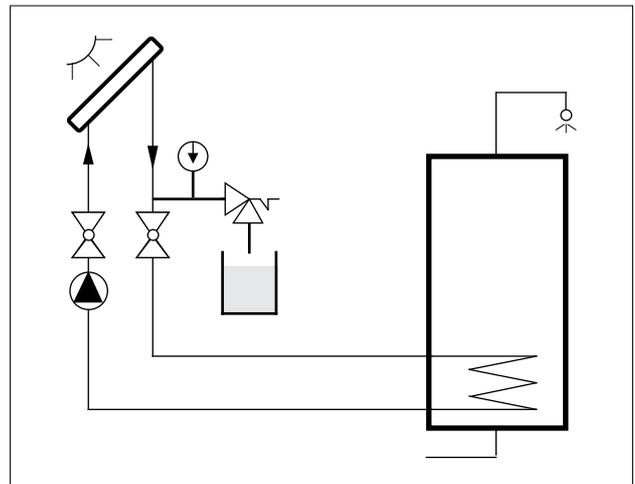


Figure g26

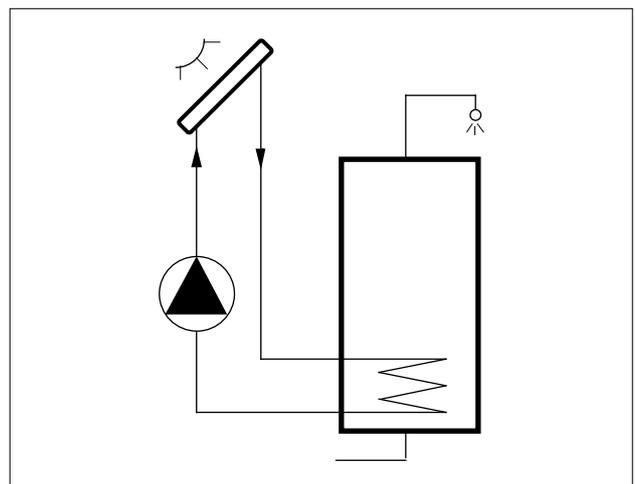


Figure g27

1.3.3 Purgeurs

Pour le bon fonctionnement de l'installation, il est primordial qu'elle soit en tout temps bien purgée.

Une purge mal effectuée est une des causes premières d'un fonctionnement incorrect d'une installation solaire!

On veillera lors du montage à faciliter la purge du circuit.

Pour cela:

- éviter autant que possible les points hauts sur la tuyauterie;
- installer des purges manuelles avec bouteille d'air à tous les points hauts de l'installation, et en particulier à la sortie des capteurs;
- les purgeurs doivent toujours être atteignables, et pour cela devront parfois être ramenés à un endroit accessible au moyen de tubes cuivre $\varnothing 6/8$ par exemple;
- ne pas installer de purgeurs automatiques à proximité des capteurs (risque de dysfonctionnement et de perte de liquide caloporteur);
- pour les petites installations on trouve des circulateurs qui font également office de dégazeur. Pour les grandes installations on trouve des pots de dégazage dans le commerce. Ces dégazeurs automatiques peuvent être utiles pour éliminer progressivement un solde d'air éventuel dans l'installation après le remplissage initial ou après un complément de remplissage.

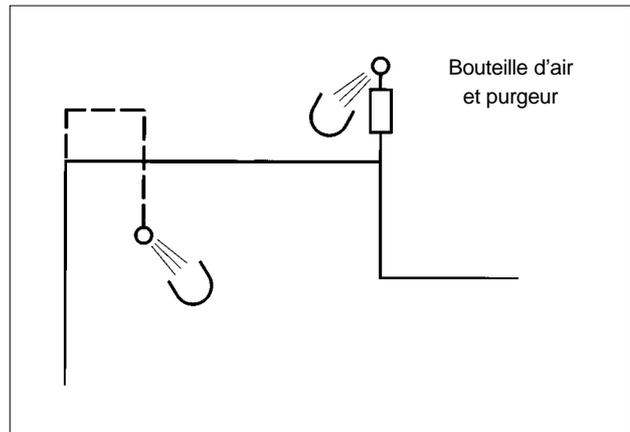


Figure g28

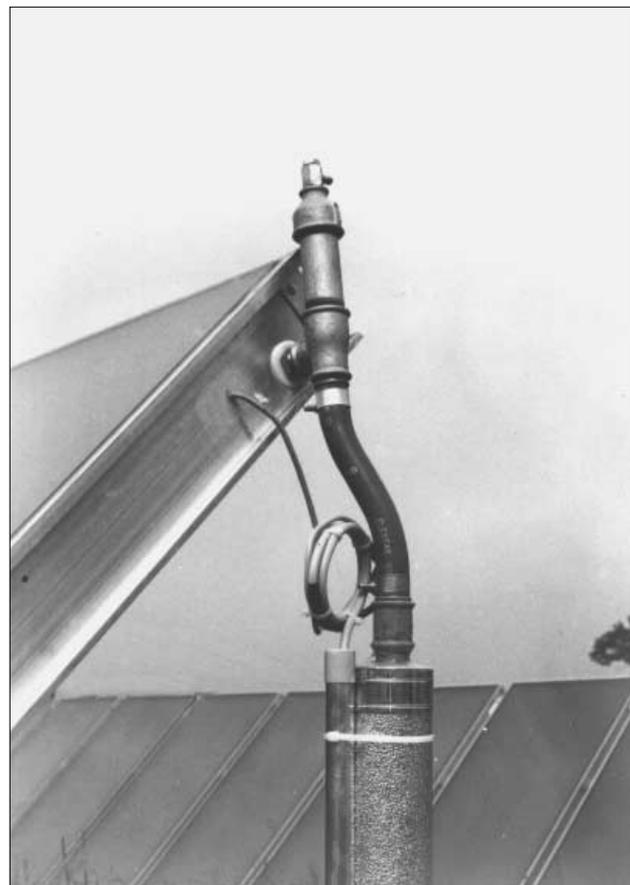


Figure g26

1.3.4 Débitmètre

Caractéristiques et utilité, voir chapitre C, point 3.6. Suivre les prescriptions de montage du fournisseur.



Figure g30

1.4 Accumulateur

- Veiller à ce que tous les raccords de l'accumulateur soient facilement accessibles.
- Si l'isolation de l'accumulateur est posée sur place, ce travail doit en principe se faire avant les raccordements hydrauliques.
- Après avoir isolé l'accumulateur, on doit souvent encore le déplacer; il faut alors prévoir la place nécessaire pour cette manœuvre.

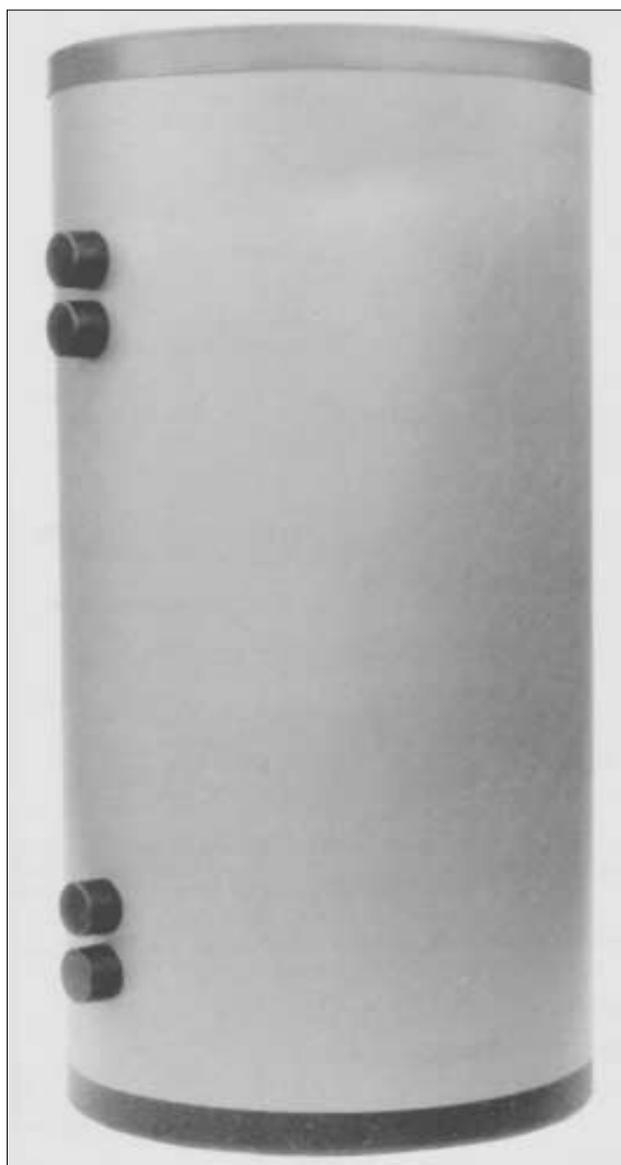


Figure g31

1.5 Régulation

Les sondes sont livrées avec le régulateur ou déjà installées dans un capteur ou sur le chauffe-eau.

Les régulateurs ne doivent être utilisés qu'avec les sondes pour lesquelles ils sont prévus.

L'alimentation de courant, le raccordement du circulateur et le raccordement des sondes de températures doivent être effectués par l'électricien selon le schéma électrique livré par le fournisseur.

Si l'alimentation de la régulation et le raccordement du circulateur sont précâblés par le fournisseur, l'installateur peut réaliser lui-même le raccordement des sondes en basse tension.

La meilleure manière de fixer les sondes appliques est d'utiliser une colle à deux composants et une bande autocollante en aluminium. Avant le collage on prendra soin de gratter la peinture à l'emplacement prévu pour la sonde (fig. g35).

Le mesure correcte des températures est une condition essentielle au bon fonctionnement de l'installation solaire.

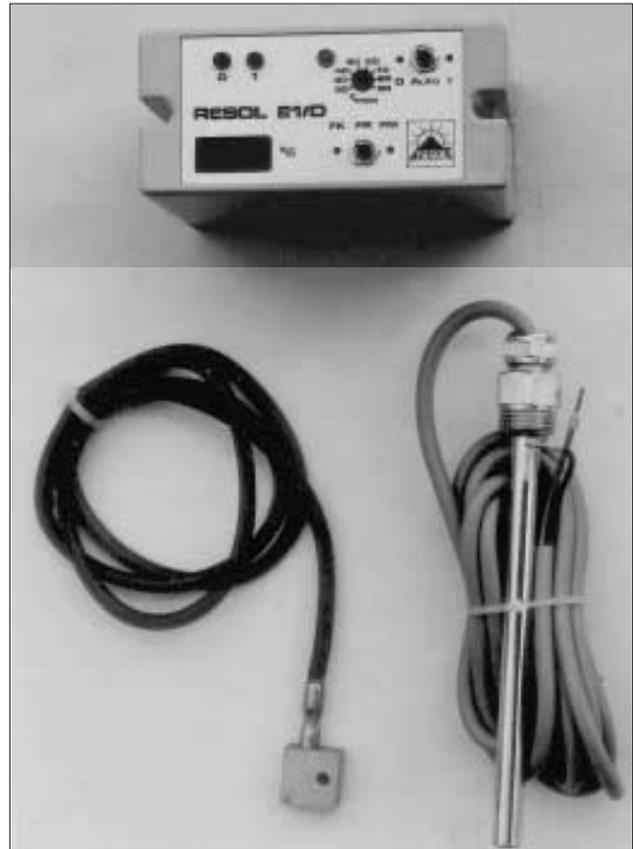


Figure g32

1.5.1 Sonde des capteurs

• Emplacement

La sonde doit être placée de manière à mesurer la température de l'absorbeur à proximité de son raccord de sortie.

Lorsque les capteurs sont raccordés en série, la sonde devra être placée dans le dernier capteur d'un groupe (en fonctionnement, le capteur de sortie d'un groupe est le plus chaud).

• Montage

- Sonde plongeante dans l'absorbeur, dans une douille vissée sur le raccord de sortie de l'absorbeur (fig. g34).
- Sonde applique collée sur la face arrière de l'absorbeur (en général par le fournisseur des capteurs) (fig. g35).

• Précautions

- La sonde des capteurs est livrée avec un câble de 1 à 2 m. Il doit résister aux hautes températures. En général un câble en silicone est utilisé.
- Le boîtier de raccordement entre le câble de la sonde et le câble de liaison au régulateur doit être si possible accessible.
- La pénétration du câble dans la sonde doit être étanche afin d'éviter une détérioration de celle-ci par une oxydation due à l'humidité (condensation occasionnelle dans le capteur).

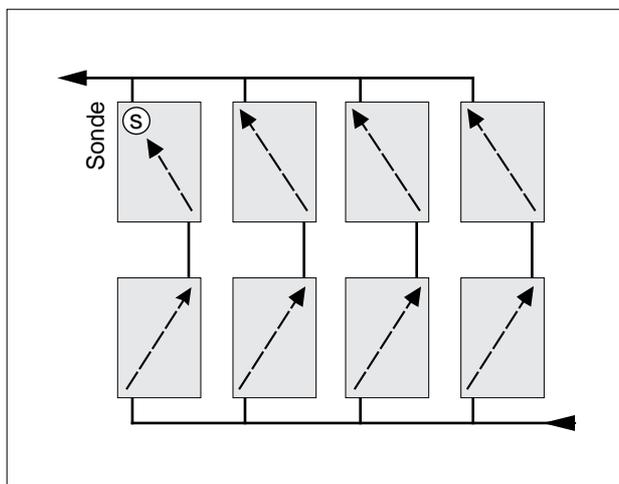


Figure g33

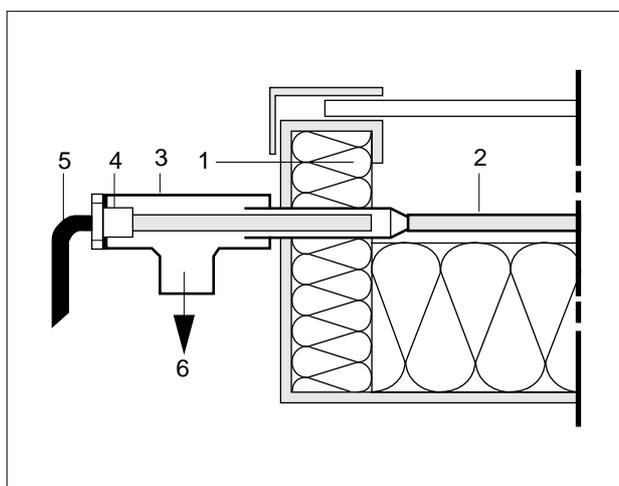


Figure g34

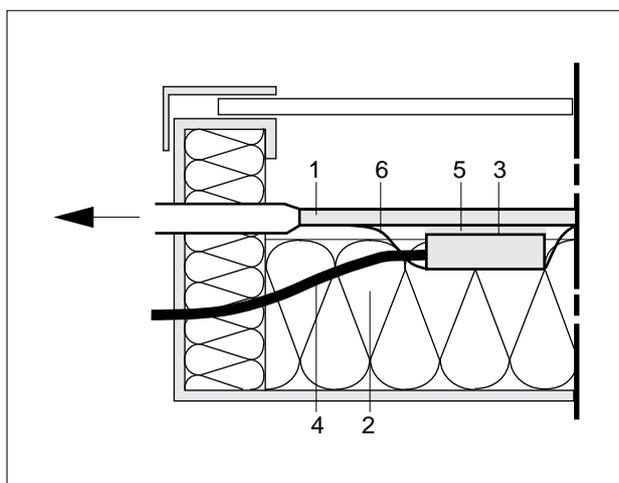
Pose sonde plongeante

- | | |
|--------------------|--------------------------------|
| 1. Capteur solaire | 5. Sonde plongeante avec câble |
| 2. Absorbeur | 6. Conduite chaud capteurs |
| 3. Té | |
| 4. Douille | |

Figure g35

Pose sonde applique:

1. Absorbeur
2. Isolation capteur
3. Sonde applique
4. Câble sonde
5. Colle
6. Bande autocollante aluminium



1.5.2 Sonde de l'accumulateur

- Emplacement

La sonde de l'accumulateur doit si possible être placée un peu plus haut que le milieu de l'échangeur immergé mais en aucun cas au dessus de celui-ci (fig. g36).

Si un échangeur externe est utilisé, la sonde sera placée à 10 à 15 cm au dessus de la conduite de sortie de l'accumulateur à l'échangeur (fig. g37).

- Montage

- Sonde plongeante dans l'accumulateur, dans une douille vissée sur une prise.
- Sonde collée sur la paroi de l'accumulateur, sous l'isolation!
- Sonde plongeante, dans la sortie de l'échangeur immergé, dans une douille vissée dans un raccord (fig. g38).

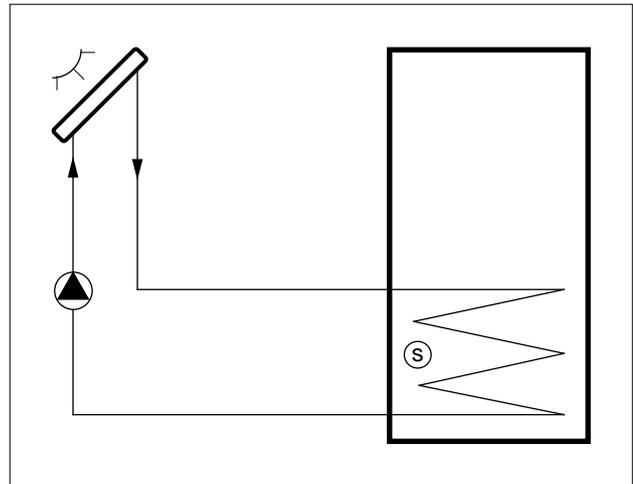


Figure g36 Sonde plongeante dans accumulateur

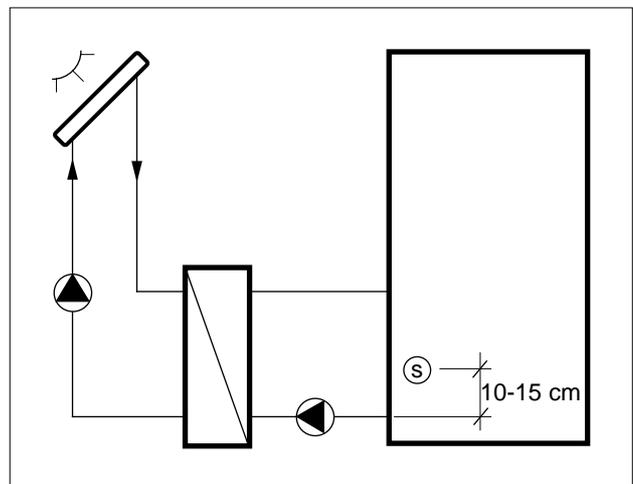


Figure g37 Sonde d'accumulateur avec échangeur externe

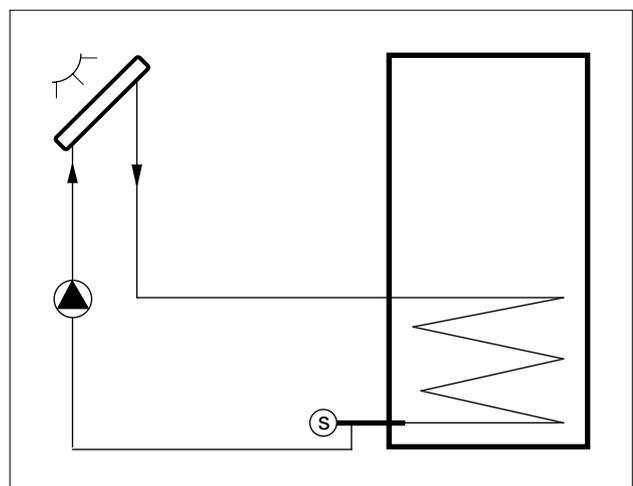


Figure g38 Sonde plongeante dans la conduite de sortie de l'échangeur

1.6 Raccordements sanitaires

Ces raccordements doivent correspondre aux prescriptions et aux normes en vigueur.

Il est utile de diriger vers le bas la sortie d'eau chaude du réservoir de manière à éviter une thermocirculation dans la conduite.

Il est conseillé de poser un mitigeur thermostatique sur la conduite d'eau chaude, car l'eau peut atteindre en été des températures de 80 à 90°C, particulièrement dans le cas des installations combinées pour le chauffage et l'eau chaude ou la surface de capteurs est surdimensionnée en période estivale.

Le mitigeur thermostatique ajuste la température de l'eau chaude aux consommateurs à une température moyenne et évite que l'utilisateur ne se brûle en soutirant de l'eau très chaude du réservoir.

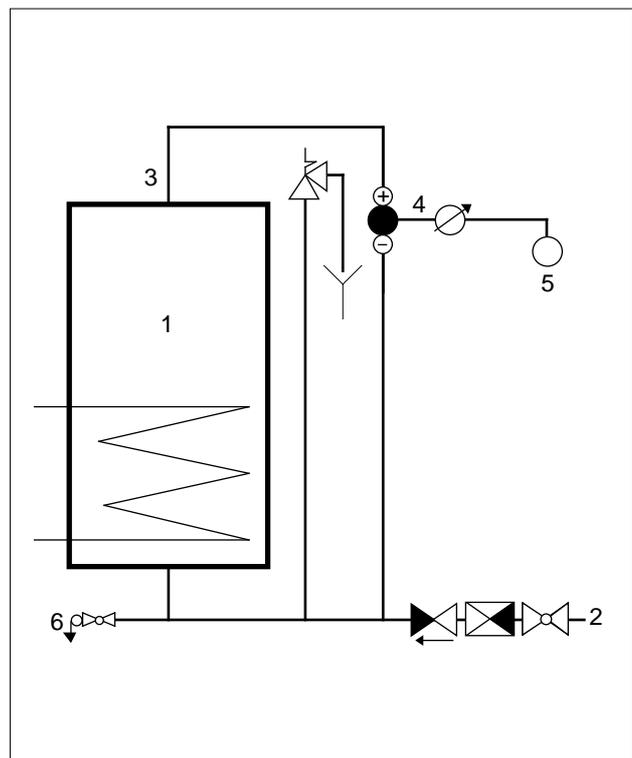


Figure g39

1. Accumulateur
2. Eau froide réseau
3. Sortie eau chaude
4. Mitigeur thermostatique
5. Eau mélangée aux consommateurs
6. Vidange chauffe-eau

1.7 Protection contre la surchauffe de l'installation

Une surchauffe de l'installation peut se produire lorsque :

- l'accumulateur est sousdimensionné par rapport à la surface de capteurs et à la consommation ;
- la surface de captage est surdimensionnée par rapport à la consommation ;
- la consommation d'eau chaude est faible ou nulle lors de l'absence de certains ou de tous les usagers ;
- l'installation est combinée pour le chauffage des locaux et la production d'eau chaude sanitaire. Dans ce cas la surface de capteurs est surdimensionnée par rapport aux besoins estivaux ;
- Une interruption de courant ou une panne de circulateur survient lors d'une journée ensoleillée.

• Mesures à prendre

On peut prendre diverses mesures pour éviter une surchauffe, ou tout au moins pour en éviter les conséquences négatives. Voici les diverses possibilités :

1. Décharger chaque soir le bas de l'accumulateur

Ainsi l'énergie produite le jour suivant peut à nouveau y être stockée. Cette décharge partielle est automatiquement commandée par le régulateur solaire adéquat qui enclenche, ou qui maintient enclenché, le circulateur solaire au dessus d'une température d'accumulateur donnée.

2. Augmenter la proportion d'antigel dans le liquide caloporteur :

90 % de glycol, 10 % d'eau

Du fait de cette forte concentration, une ébullition dans les capteurs n'intervient qu'à très haute température (180°C à une pression de 2 bar). Il est ainsi possible d'arrêter le circulateur lorsque l'accumulateur atteint une température de 90°C par exemple. Cet arrêt est automatiquement commandé par le régulateur solaire adéquat qui réagit lorsque la température de l'accumulateur atteint la température de consigne.

3. Dimensionner le vase d'expansion de telle manière qu'il puisse absorber tout le volume des capteurs et 10% du volume du reste du circuit solaire

Ainsi, en cas d'ébullition puis d'évaporation dans les capteurs tout leur contenu trouve place dans le vase et la pression d'ouverture de la soupape de sécurité du circuit n'est pas atteinte. Après refroidissement, les capteurs sont à nou-

veau automatiquement remplis par le liquide caloporteur.

(Dimensionnement du vase selon méthode B, voir pages D10, E10, F10)

4. Utiliser la chaleur solaire ailleurs ou l'évacuer

- Dans une piscine.
- Sur un radiateur ou un aérochauffeur dans un sous-sol par exemple.
- Dans un écoulement à l'aide d'une vanne de décharge thermique installé sur le circuit d'eau chaude. Cette solution n'est pas très heureuse et n'est à utiliser qu'en dernier recours !

• Généralités

- Un dimensionnement correct de l'installation permet d'éviter toutes les surchauffes non accidentelles. Eviter particulièrement le surdimensionnement de la surface des capteurs comparée à la consommation effective d'énergie.
- Dans la mesure du possible, raccorder tous les consommateurs d'eau chaude au chauffe-eau solaire : machine à laver la vaisselle, le linge, etc.
- Avec une installation solaire il est préférable de réaliser une circulation sanitaire plutôt que de poser des câbles chauffants sur les conduites d'eau chaude.

2 Mise en service

La mise en service doit avoir lieu aussi rapidement que possible après la fin du montage des capteurs.

Se référer aux indications du fournisseur des capteurs.

La mise en service et le remplissage de l'installation doivent être réalisés le matin avant un trop fort rayonnement solaire sur les capteurs, ou par temps nuageux.

Après la mise en service, il ne faut plus arrêter l'installation.

2.1 Préliminaires

Avant la mise en service, il faut s'assurer que les travaux suivants soient terminés :

- circuit hydraulique solaire ;
- raccordements sanitaires ;
- raccordements électriques.

Pour la mise en service convoquer :

- l'électricien ;
- le fournisseur du matériel solaire ;
- le responsable futur de l'installation (propriétaire ou concierge ou gérant, etc.).

2.2 Matériel nécessaire

- Instruments
 - Tâteur électrique simple
 - Ohmmètre (gamme 10 Ohm à 2 MOhm)
 - Appareil de contrôle de la proportion d'antigel
 - Thermomètre électronique digital (0 à 100°C).
- Outillage
 - Pince à tuyaux
 - Pince plate
 - Pince à bec fin
 - Clef de purgeur
 - Tournevis 1 à 5, éventuellement tournevis en croix
 - Pompe pour le remplissage de l'installation, avec perceuse d'entraînement si nécessaire (pression de refoulement au moins égale à la hauteur entre le point de remplissage et le point haut de l'installation + 5 m)
 - Au moins 2 bidons vides de 10 à 20 litres.



Figure g40

- Tuyau souple de 1,5 m pour enfiler sur les purgeurs
- Tuyau souple pour le remplissage
- Pompe à air avec manomètre.

- Matériel
 - Fluide caloporteur, conforme aux instructions du fabricant de capteurs.
 - Le régulateur s'il n'est pas encore installé.

- Documents
 - Le dossier de l'installation.
 - Les instructions techniques des divers composants de l'installation.
 - Les schémas hydrauliques et électriques de l'installation.
 - La fiche de mise en service (modèle en annexe point 2.9, page G 2.9).

- Organes de sécurité correctement installés.
- Remplissage de l'accumulateur effectué.
- Contrôle de l'étanchéité du circuit.
- Appoint correctement installé.
- Contrôle de l'enclenchement et du déclenchement de l'appoint par la sonde ou le thermostat de réglage.

2.3 Vérifications avant le remplissage

- Circuit solaire
 - Montage correspondant au schéma d'exécution : les conduites aller et retour ne doivent pas être inversées ! La robinetterie doit être correctement placée.
 - Purgeurs installés à tous les points hauts de l'installation ; ces purgeurs doivent être fermés avant le remplissage.
 - Serrage des raccords et vis de rappel.
 - Contrôle et si nécessaire ajustage de la pression initiale du vase Pi (pression de gonflage) ; voir 2.4 « Pression initiale du vase ».
 - Contrôle de l'ouverture des vannes d'arrêt du circuit.

- Raccordements électriques
 - Alimentation du régulateur.
 - Raccordement correcte des sondes de température.
 - Alimentation correcte du circulateur solaire.
 - Mesure des sondes de températures et essai du régulateur solaire ; voir point 2.5 « Régulation ».

- Circuit sanitaire et accumulateur
 - Raccordement hydraulique correspondant au schéma et répondant aux normes et prescriptions.

2.4 Pression initiale du vase

Le contrôle, et si nécessaire l'ajustage, de la pression initiale du vase P_i doit toujours être effectué lorsque le vase est vide de liquide caloporteur, soit avant le remplissage de l'installation.

Pression initiale de gonflage du vase d'expansion

$$P_i = (\Delta h \text{ (m)} + 3)/10 = (\dots\dots + \dots\dots + 3)/10 = \dots\dots \text{bar}$$

Δh est la différence de hauteur entre le vase d'expansion et le point le plus haut de l'installation, exprimé en mètres (voir pages D11, E11, F11).

Le vase peut être commandé au fournisseur avec P_i pré-réglé.

P_i peut aussi être contrôlé ou réglé sur le chantier avant le remplissage de l'installation. Pour cela, il faut être équipé d'une pompe à air avec manomètre. Brancher la pompe sur la valve du vase, lire la pression, gonfler ou dégonfler selon nécessité. Après le réglage ne pas oublier de revisser la cape de la vanne.

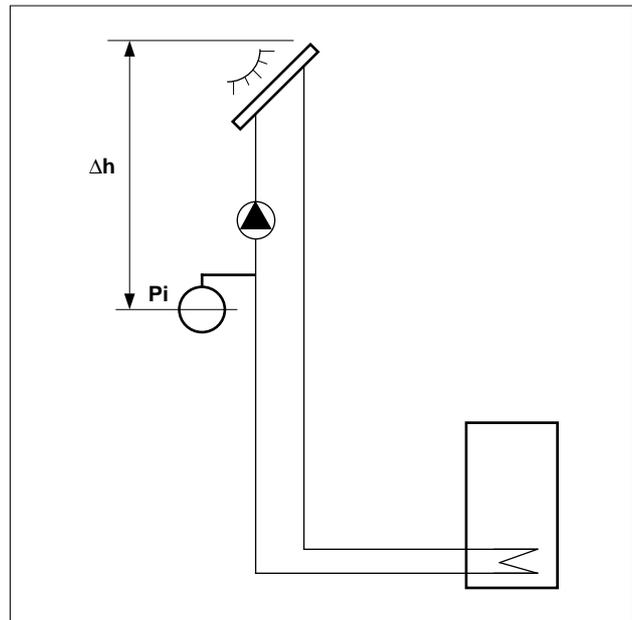


Figure g41 Représentation de Δh

2.5 Contrôles et réglages régulation

Les contrôles doivent avoir lieu avant le remplissage. Il est conseillé de ne livrer à l'électricien que le socle du régulateur pour les raccordements et d'installer le régulateur lors de la mise en service.

- Régulateur équipé d'un indicateur digital des températures capteurs et chauffe-eau
1. Débrancher l'alimentation de courant du régulateur (prise ou fusible).
 2. Contrôler les raccordements électriques selon le schéma.
 3. Enficher le régulateur sur son socle.
 4. Brancher l'alimentation du régulateur.
 5. Contrôler la température des sondes capteurs et chauffe-eau sur l'indicateur digital. Si la sonde du chauffe-eau est plongeante dans une douille, on peut la retirer un instant et la chauffer dans la main pour contrôler la variation de température sur l'écran digital.
 6. Si l'une des températures affichée capteur ou chauffe-eau semble ne pas correspondre à la réalité, cela peut avoir les causes suivantes :
 - sondes mal raccordées ou croisées ;
 - sonde défectueuse.
 Remédier au défaut éventuel après avoir débranché l'alimentation, puis rebrancher.

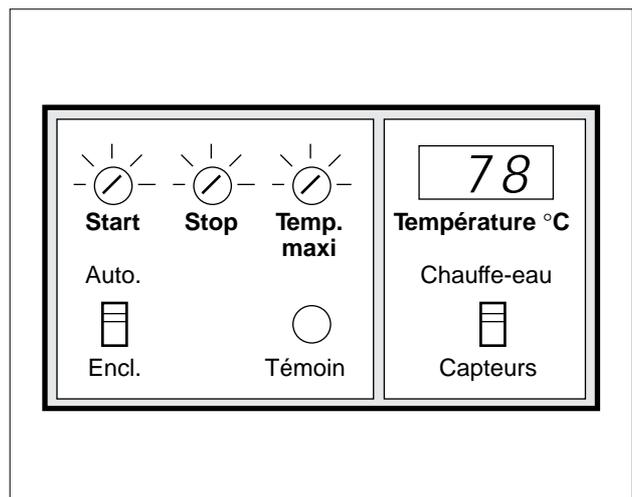


Figure g42 Exemple de régulateur, face frontale

7. Positionner l'interrupteur *Auto-Encl.* sur *Enclenché*: le circulateur solaire doit s'enclencher. Si le circulateur est raccordé en 380 V, contrôler son sens de rotation. Repositionner l'interrupteur sur *Auto*.
- 8 Régler la valeur *Start* et *Stop* du régulateur au minimum. Si les capteurs sont plus chauds que le chauffe-eau, le circulateur solaire doit s'enclencher. Une lampe témoin sur le régulateur indique le fonctionnement de ce circulateur.
9. Régler la valeur *Start* et *Stop* du régulateur au maximum. Si la différence de température entre les capteurs et le chauffe-eau est assez faible, le circulateur doit se déclencher.

Note pour 8 et 9: Si lors des essais la température mesurée des sondes est trop proche, retirer la sonde du chauffe-eau et faire varier sa température en la plaçant dans de l'eau chaude ou froide. Veiller à ne pas l'immerger complètement car le joint au câble n'est pas toujours étanche.

10. Régler les différences de température d'enclenchement et de déclenchement ainsi: potentiomètre *Start* sur 6K et *Stop* sur 2K.
11. Régler la température maxi de l'accumulateur à environ 85°C (si cette fonction existe sur le modèle de régulateur concerné)
12. Noter les valeurs de réglage sur le régulateur au moyen d'un feutre indélébile.

- Régulateur sans indicateur de températures
Procéder selon points 1 à 12 ci-dessus. Toutefois la valeur indiquée par les sondes doit être mesurée par un ohmmètre et contrôlée sur une table de résistance des sondes en fonction de la température. Les mesures doivent être faites avec l'alimentation débranchée et avec le régulateur sorti de son socle ou les sondes débranchées.

IMPORTANT : Lors de ces vérifications, ne pas laisser fonctionner le circulateur solaire trop longtemps, car il n'est pas encore lubrifié par le liquide !

- Régulateur multifonctions
Chaque différentiel doit être contrôlé et réglé selon les indications ci-dessus. Si nécessaire faire appel au spécialiste de la régulation et définir avec lui les valeurs de réglage à appliquer.

2.6 Rinçage, remplissage et purge de l'installation

Les vérifications selon point 2.3 doivent être effectuées avant le rinçage et le remplissage

Il est très difficile de remplir l'installation lorsque le soleil brille: les capteurs peuvent être très chauds et vaporisent le liquide de remplissage. La vapeur produite empêche la bonne circulation et la purge correcte de l'installation.

Il est donc conseillé d'effectuer le remplissage lorsque le soleil est voilé ou absent. Si cela n'est pas possible, couvrir les capteurs.

Pour le remplissage il faut disposer soit d'une pompe à main, soit d'une pompe actionnée par une perceuse ou d'une pompe motorisée. Dans tous les cas, la pompe de remplissage doit avoir une pression de refoulement, exprimée en mètres, au moins égale à la hauteur entre le robinet de remplissage et le point haut de l'installation + 5 mètres.

Le circulateur solaire doit être déclenché pour le rinçage et la purge.

2.6.1 Rinçage

Il est important de rincer le circuit des capteurs afin d'éliminer des corps étrangers (résidus de filasse, copeaux d'acier, etc.) qui resteraient dans les conduites après le montage. Ces particules de saleté pourraient entraver le fonctionnement de l'installation en réduisant le débit ou en empêchant l'étanchéité d'organes importants tel que le clapet de retenue et la soupape de sécurité.

L'installation peut être rincée soit avec de l'eau, soit avec le mélange antigél.

Si on rince l'installation avec de l'eau on aura des difficultés pour obtenir la bonne proportion de mélange eau et antigél lors du remplissage. En effet, il sera la plupart du temps impossible de vidanger entièrement les capteurs après le rinçage; la quantité d'eau restant dans le circuit n'étant pas connue il sera difficile d'obtenir la proportion voulue d'antigel dans le circuit après le remplissage.

- Procédure si rinçage à l'eau
 - Raccorder un tuyau souple au robinet a.
 - Ouvrir le robinet a, fermer le robinet b, ouvrir le robinet c, fermer les purges sur l'installation.
 - Rincer l'installation avec l'eau du réseau ou avec de l'eau du bac introduite par la pompe de remplissage.

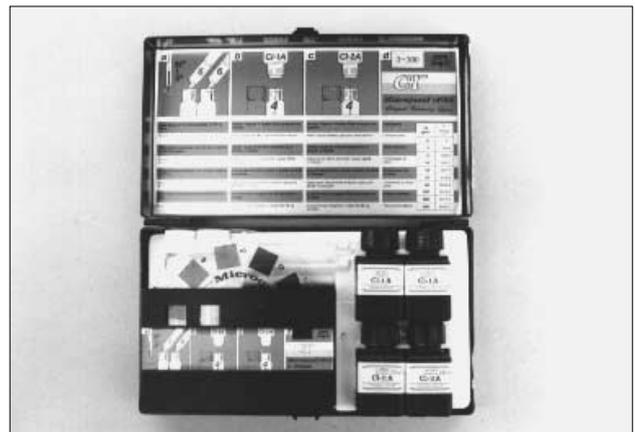


Figure g43 Coffret pour la mesure de la teneur en chlore de l'eau

- L'air puis l'eau de rinçage sort par le robinet c. L'eau peut être évacuée à l'écoulement.
- Lorsque l'eau de rinçage sortant du robinet c est claire, fermer la vanne a, déconnecter le tuyau souple et vidanger l'installation à tous les points bas.

Un rinçage et un essai de pression à l'eau doivent être immédiatement suivi du remplissage définitif avec le mélange antigel adéquat.

Si les absorbeurs sont en acier inoxydable, l'eau utilisée pour le rinçage et pour le remplissage avec l'antigel doit être exempte de ion chloré. Se renseigner auprès du service des eaux de l'endroit ou mesurer la teneur en chlore de l'eau du réseau à l'aide d'un appareil adéquat. Si l'eau du réseau est chlorée, utiliser de l'eau de source, de l'eau déminéralisée ou le mélange anti-gel livré par le fournisseur des capteurs.

Ne jamais mélanger différents types d'antigel entre eux.

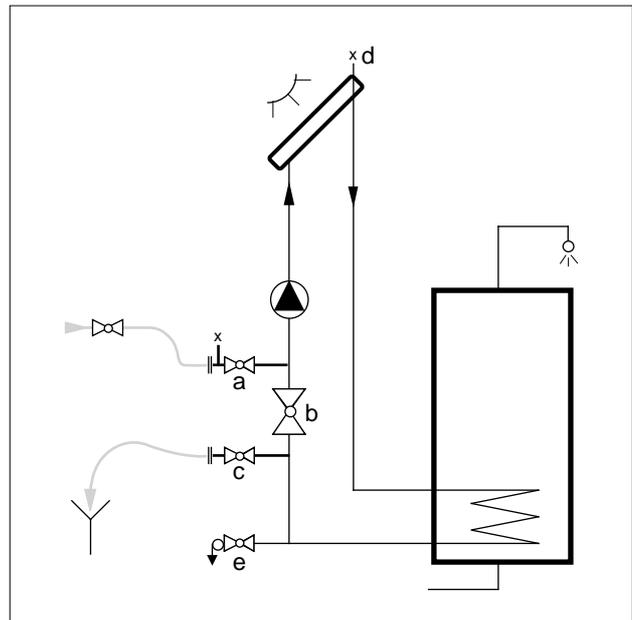


Figure g44 Rinçage à l'eau du circuit solaire

- a. Vanne de remplissage
- b. Vanne d'arrêt
- c. Vanne de purge
- d. purgeur capteurs
- e. Vidange

2.6.2 Rinçage et remplissage avec le liquide antigel

Préparer la quantité de liquide caloporteur nécessaire avec la concentration d'antigel définie sur la base des indications du fournisseur des capteurs ou des conditions météorologiques locales. S'il reste de l'eau de rinçage dans le circuit solaire, en tenir compte lors de la préparation du mélange.

Le mélange est préparé dans un bidon ou un tonneau dans lequel on puisera pour effectuer le remplissage. Pour cela verser dans le bidon le glycol pure puis l'eau, dans les proportions choisies, puis brasser. Pour les grandes quantités de liquide caloporteur on peut préparer le mélange en plusieurs fois.

Le liquide caloporteur peut également être livré prêt à l'emploi par le fournisseur. Par sécurité on peut mesurer la protection antigel, à l'aide d'un instrument approprié au type d'antigel utilisé.

La quantité de liquide caloporteur dans le circuit est calculé selon les indications des pages D19, E19 et F19.

Si l'installation comporte plusieurs lignes de capteurs en série, il faudra remplir et purger chaque ligne de capteurs séparément, en utilisant les vannes de fermeture installées pour chaque ligne.



Figure g45 Exemple de pompe de remplissage

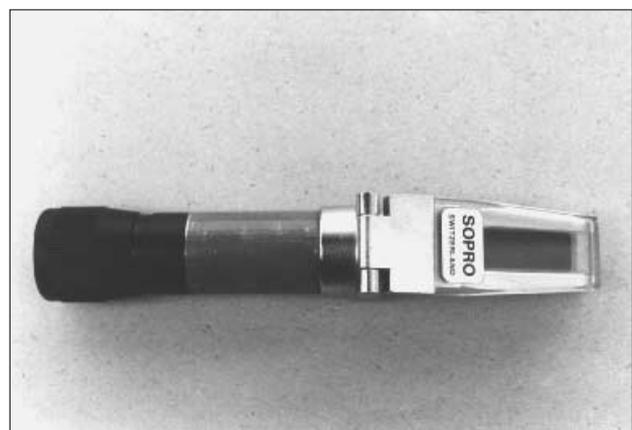


Figure g46 Appareil pour la mesure de la protection anti-gel

- Procédure

On peut réaliser simultanément le rinçage et le remplissage de l'installation. Cette solution apporte une simplification du travail et un gain de temps :

- Raccorder le tuyau souple de la pompe de remplissage au robinet a et un tuyau souple transparent entre la vanne c et le bac.
- Ouvrir le robinet a, fermer le robinet b, ouvrir le robinet c, fermer les purges sur l'installation.
- Introduire le mélange antigel grâce à la pompe de remplissage (sans aspirer de l'air !).
- Rincer l'installation ; l'air puis le liquide de rinçage sort par le robinet c. Le liquide retourne dans le bac.
- Lorsque le liquide sortant du robinet c est propre et que ce liquide est exempt de bulle d'air fermer les robinets c et a.
- Purger l'installation en soutirant plusieurs litres de liquide à chaque purgeur.
- Au fur et à mesure de la baisse de pression due à la purge, compenser le liquide en ouvrant le robinet a et en actionnant la pompe de remplissage.
- Ouvrir la vanne b et enclencher le circulateur solaire durant quelques minutes (positionner l'interrupteur « Circulateur » du régulateur solaire sur *Enclenché*).
- Déclencher le circulateur et répéter la purge.
- Compléter le remplissage jusqu'à la pression de remplissage à froid (Pr). Cette pression exprimée en bar est indiquée au manomètre et est égale à : $(\Delta em \text{ (m)} + \Delta h \text{ (m)} + 5) / 10 = (\dots\dots + \dots\dots + 5) / 10 = \dots\dots \text{bar}$ (voir fig. g48).

Le respect de la pression nominale de remplissage à froid est primordial pour un fonctionnement correct de l'installation.

Une pression de remplissage trop élevée peut provoquer une ouverture de la soupape de sécurité lorsque le circuit solaire est à haute température. Cette ouverture nécessite ensuite un complément de remplissage.

- Fermer la vanne a, débrancher le tuyau d'alimentation et le tuyau d'écoulement de la vanne c.
- Rincer à l'eau la pompe de remplissage et les tuyaux de remplissage et de purge.
- Nettoyer d'éventuelles taches d'antigel au sol.

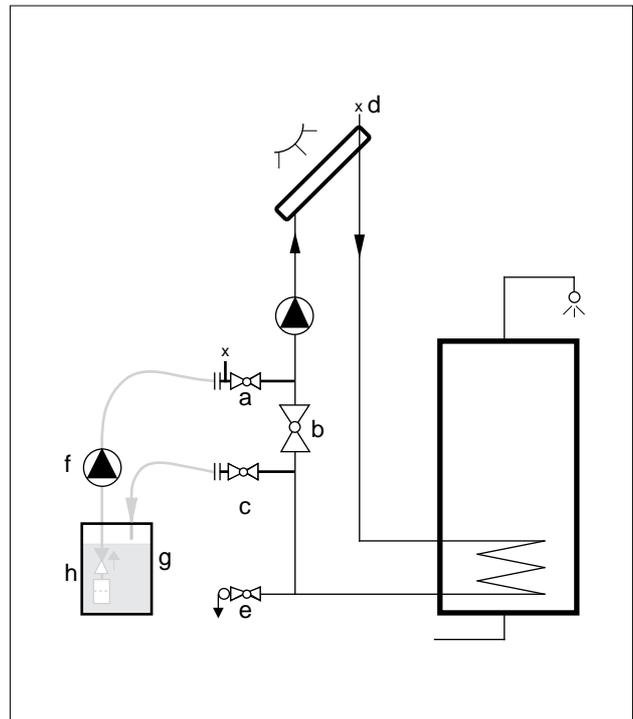


Figure g47 Rinçage et remplissage du circuit solaire

- | | |
|-------------------------|--------------------------------|
| a. Vanne de remplissage | e. Vidange |
| b. Vanne d'arrêt | f. Pompe de remplissage |
| c. Vanne de purge | g. Bac d'antigel |
| d. Purgeur capteur | h. Clapet de retenue et filtre |

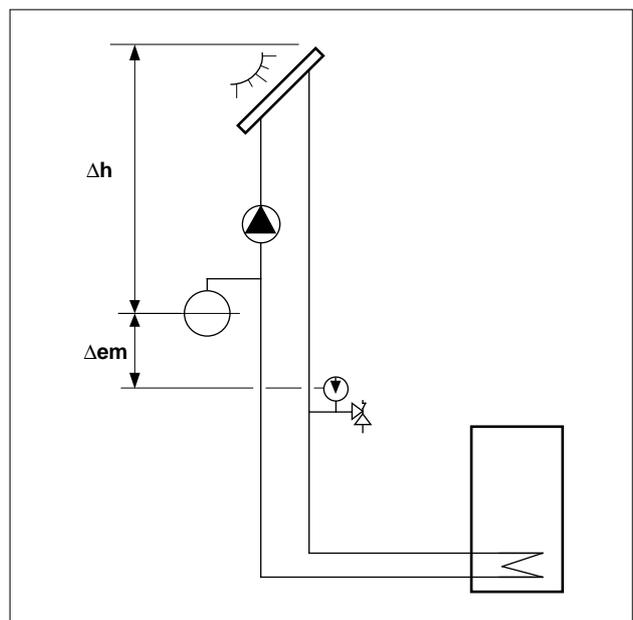


Figure g48 Représentation Δh et Δem

2.7 Mise en fonction

- Alimenter et régler le régulateur solaire, selon indications point 2.5, N°10:
 - potentiomètre Start 6 K
 - potentiomètre Stop 2K
 - interrupteur circulateur *Automatique*
 - température maxi accumulateur 85°C
- Régler la vitesse du circulateur (s'il s'agit d'un modèle à plusieurs vitesses), afin d'obtenir le débit désiré dans le circuit:

$$\text{Débit} = \text{surface de capteurs } m^2 \times 30 \text{ à } 50 l/hm^2 = \dots \times \dots = \dots l/h$$

$$= \dots l/min$$
- Contrôler que l'installation ne présente pas de fuite.
- Etiqueter les conduites et les appareils.
- Indiquer la pression minimale à froid dans le circuit, par un repère sur le manomètre:

$$(\Delta h (m) + \Delta em (m) + 3)/10 = (\dots + \dots + 3) / 10$$

$$= \dots bar$$
- Remplir la fiche de mise en service selon page G2.9.
- Donner les instructions orales et écrites au responsable de l'installation (propriétaire, concierge etc.), voir page G2.8.
- Lors d'une journée ensoleillée contrôler la différence de température entre les conduites d'aller et de retour aux capteurs. Cette différence de température devrait être comprise entre 5 et 15K.



Figure g 49 Exemple de compteur de chaleur

2.8 Instructions de service à l'utilisateur

Il est indispensable de donner des instructions claires et précises à l'utilisateur concernant le fonctionnement, la surveillance et l'entretien de son installation.

Ces instructions devront être faites sous forme orale et écrite.

Les organes de contrôle seront présentés et les manipulations exercées par l'exploitant.

2.8.1 Description de l'installation

- Fonctionnement général de l'installation.
- Description et fonction des différents appareils : capteurs, robinetterie, régulateur solaire, accumulateur, appoint.

2.8.2 Réglages

- Régulateur : Potentiomètres *Start...K*, *Stop...K*, interrupteur circulateur solaire sur *Automatique*.
- Mitigeur thermostatique à la sortie d'eau chaude.....°C
- Appoint électrique.....°C
- Appoint chaudière.....°C

2.8.3 Manipulations

- En cas de panne du régulateur, il est possible d'enclencher manuellement le circulateur solaire lorsque le temps est ensoleillé, en positionnant son interrupteur sur *Enclenché*
- En période estivale, si on désire utiliser uniquement le solaire, il faudra déclencher l'appoint. Ainsi, celui-ci ne s'enclenchera pas automatiquement chaque fois qu'un faible complément au solaire est nécessaire. Si une période prolongée sans solaire devait survenir, l'appoint devra bien sûr être remis en fonction.

2.8.4 Points importants

- NE PAS INTERROMPRE LE FONCTIONNEMENT DE L'INSTALLATION LORSQUE LE SOLEIL BRILLE.
- Ne JAMAIS ajouter d'eau dans le circuit des capteurs : danger de gel !

- Ne JAMAIS fermer les vannes d'arrêt du circuit solaire.
- Ne JAMAIS introduire d'eau contenant du chlore dans le circuit solaire.
- Si une surchauffe des capteurs a provoqué une montée en pression et une ouverture de la soupape de sécurité du circuit solaire, il faut contrôler la pression minimale à froid (voir 2.6.4) et si nécessaire compléter le remplissage avec le caloporteur adéquat.
- En cas d'absence prolongée, déclencher l'appoint pour la production d'eau chaude sanitaire.

2.8.5 Documents à remettre à l'utilisateur

- Schémas hydraulique et électriques.
- Fiches techniques et instructions des appareils.
- Instructions particulières à l'installation.
- Un double de la présente page.
- Un double de la fiche de mise en service (page G2.9).
- Une copie de la page G3.1 « Contrôles à effectuer ».

2.9 Procès-verbal de mise en service ou de contrôle

Référence:
 Date: Par: En présence de :
 MISE EN SERVICE
 CONTRÔLE

Raccordement électriques
 Branchements du régulateur solaire conforme
 Sonde capteurs:
 emplacement conforme..... température °C..... résistance Ω
 Sonde accumulateur:
 emplacement conforme..... température °C..... résistance Ω

Essai de la régulation
 Interrupteur *Auto - Encl.*
 Potentiomètres *Start*..... *Stop*.....
 Température maximale du chauffe-eau:
 enclenche le circulateur..... déclenche le circulateur.....
 Sens de rotation du circulateur solaire correct

Contrôles installation
 Capteurs solaires: montage et état correct
 Raccordements conformes au schéma d'exécution
 Accumulateur rempli
 Appoint et sa commande correctement situés et raccordés

Circuit solaire
 Δh hauteur de l'installation entre le vase et les capteurs mCE.....
 Pans Pression d'ouverture de la soupape de sécurité bar.....
 Pression initiale de gonflage du vase d'expansion bar.....
 Rinçage du circuit
 Remplissage de l'installation:
 - liquide caloporteur, marque et type
 - quantité l..... protection °C.....
 - pH..... teneur en chlore ppm.....
 Pression de remplissage à froid bar.....
 Pression minimale à froid bar.....
 Débit ajusté à l/h..... l/min.....
 Purge de l'installation
 Raccords serrés
 Pas de fuite sur l'installation

Réglages
 Potentiomètre *Start* K..... *Stop* K.....
 Interrupteur circuit solaire sur *Automatique*
 Température maxi chauffe-eau °C
 Vitesse du circulateur solaire
 Température enclenchement appoint électrique °C.....
 Température enclenchement appoint chaudière °C.....
 Température eau mélangée mitigeur °C.....

Documents remis
 - Schémas hydraulique et électriques
 - Fiches techniques et instructions des appareils
 - Instructions particulières à l'installation
 - Un double de la fiche de mise en service
 - Instructions usage et entretien

Remarques.....

Monteur de service

Responsable de l'installation

.....

.....

3 Entretien de l'installation

3.1 Contrôles

Une installation correctement dimensionnée et installée ne nécessite en principe aucun entretien. Toutefois certains contrôles permettent de s'assurer du bon fonctionnement de l'installation.

Ces mesures peuvent être faites par l'utilisateur ou par l'installateur. La fiche « Mise en service – Contrôle » (page G2.10) permet de récapituler les points contrôlés et de les comparer aux valeurs réglées ou mesurées lors de la mise en service.

Si une anomalie est constatée, il faut immédiatement avvertir l'installateur.

Un éventuel contrat d'entretien ne se justifie techniquement et financièrement que pour les grandes installations.

- Les contrôles suivants doivent être effectués régulièrement (tous les mois)
 - Le circulateur solaire doit fonctionner lorsque le soleil brille. La nuit et lorsque le ciel est très nuageux il doit être à l'arrêt.
 - La pression du circuit solaire à froid, indiquée par le manomètre, doit être supérieure à la pression minimale admissible, soit.....bar.
Cette pression minimale est indiquée à l'utilisateur par un repère sur le manomètre.
Si nécessaire compléter le liquide (selon page G2.6).
 - Le débit indiqué par le débitmètre doit correspondre au débit déterminé pour l'installation, soit..... l/h ou..... l/min.
 - La différence de température entre les conduites d'aller et de retour aux capteurs doit être comprise entre 5 et 15 K.

Si le débit n'atteint pas la valeur prévue ou si on constate des bulles d'air dans le viseur transparent du débitmètre ou si la différence de température entre les conduites d'aller et de retour aux capteurs est supérieure à 15 K : vérifier le réglage de la vitesse du circulateur, nettoyer l'éventuel filtre et purger l'installation.

Tous les cinq ans :

- Vérifier le liquide caloporteur : Valeur pH et protection antigel.

3.2 Arrêt de l'installation

Si l'installation s'arrête alors que le soleil brille, suite à une interruption de courant ou à une panne du circulateur :

- la température dans les capteurs augmente, le caloporteur bout dans les capteurs et la pression du circuit monte au dessus de la pression d'ouverture de la soupape de sécurité ;
- la soupape de sécurité laisse s'échapper du liquide caloporteur ;
- lorsque l'installation est refroidie, la pression est insuffisante et un complément de remplissage est nécessaire ;

Pour éviter cet inconvénient, choisir le vase d'expansion selon la méthode B (page D10, E10, F10), et respecter les pressions de gonflage du vase et la pression initiale au remplissage à froid de l'installation (points 2.4 et 2.6.2 pages G2.3 et G2.6).

Il ne faut jamais interrompre volontairement le fonctionnement du circuit solaire lorsque le soleil brille.

Une installation remplie ne doit jamais être vidée, sauf pour une éventuelle rapide intervention pour une réparation ou modification sur le circuit solaire.

3.3 Complément d'antigel

Ne jamais ajouter d'eau dans le circuit solaire!

Si l'on doit compléter le liquide caloporteur, il faut veiller aux points suivants :

- utiliser toujours le même caloporteur que celui employé lors du remplissage initial ;
- après le complément de remplissage toute l'installation doit probablement être à nouveau purgée ;
- envoyer éventuellement un échantillon de caloporteur au fournisseur, pour analyse de la valeur pH et de la protection antigel.

Pour le complément de remplissage, procéder selon point 2.6.2 page G2.6.

3.4 Défauts de fonctionnement et remèdes

Si l'installation ne fonctionne pas correctement, il est important de procéder systématiquement afin de remédier au défaut.

- Le circulateur ne se met pas en marche automatiquement
 - Contrôler les réglages des potentiomètres *Start* et *Stop*.
 - Contrôler que l'ordre d'enclenchement soit donné par le régulateur (lampe circulateur solaire allumée).
 - Essayer un enclenchement manuel en positionnant l'interrupteur *Auto - Encl.* sur *Encl.*
 - Contrôler l'alimentation du circulateur depuis le régulateur.
 - Contrôler le thermique.
 - Contrôler si le circulateur est bloqué.
 - Contrôler le régulateur.
 - Contrôler le raccordement et la résistance des sondes.

- Le circulateur solaire s'enclenche et se déclenche très souvent
 - Les consignes des points d'enclenchement et de déclenchement *Start* et *Stop* sont trop proches l'un de l'autre. Augmenter l'hystérèse (écart de température).

- La différence de température aller/retour du circuit capteurs est trop élevée
 - Le filtre ou un élément du circuit est encombré : nettoyer.
 - Le circuit est mal purgé : purger en soutirant plusieurs litres de liquide à chaque point haut.
 - Le circulateur est trop faible : augmenter sa vitesse de rotation ou changer de modèle.

- L'accumulateur se refroidit trop vite
 - Contrôler l'absence de ponts de froid : manteau d'isolation, flasque, conduites.
 - Contrôler l'absence de décharge nocturne par le circuit des capteurs.
 - Arrêter la circulation d'eau chaude sanitaire durant la nuit et durant les périodes où les usagers sont absents de l'habitation.
 - Si l'accumulateur est combiné chauffage et sanitaire, contrôler l'absence de thermosiphon dans l'installation de chauffage en été ; le cas échéant, fermer une vanne d'arrêt jusqu'à la saison de chauffe.

- La température de l'accumulateur est trop élevée
 - Contrôler le fonctionnement du refroidissement nocturne automatique.
 - Le volume de l'accumulateur est trop faible.

- Condensation sous le vitrage des capteurs
Une condensation partielle le matin ou par temps froid est normale. Cette condensation disparaît lorsque l'intensité du rayonnement solaire augmente.

Si cette condensation persiste :

- les aérations dans le cadre des capteurs sont bouchées : les déboucher si elles sont atteignables ;
- de l'eau de pluie pénètre dans les capteurs, par capillarité à travers des fentes : étancher ces points faibles ;
- l'absorbeur du capteur a une fuite : contrôler la pression du circuit et si la fuite est confirmée la localiser et la réparer.

H Annexes

Table des matières

		Page
Grandeurs et unités – Aspects énergétiques	H2	193
Grandeurs et unités couramment utilisées	H2.1	193
Apports d'énergie d'une installation solaire	H2.1	194
Equivalences énergétiques	H2.1	194
Rendement des appareils de production de chaleur	H2.1	195
Consommation d'énergie dans les bâtiments	H2.1	195
<hr/>		
Soleil – Terre	H3	196
Hauteur et azimut du soleil en Suisse	H3.1	196
Heure légale – Heure vraie	H3.1	196
<hr/>		
Exemple de test d'un capteur solaire	H4	197
<hr/>		
Tablettes utiles pour le dimensionnement du matériel	H5	204
Besoins en eau chaude sanitaire	H5.1	204
Caractéristiques des tubes en cuivre	H5.2	205
Caractéristiques des tubes en acier	H5.3	206
Pertes de charges équivalentes des conduites cuivre ou acier	H5.4	207
Pertes de charges des tubes en cuivre et en acier, 35% glycol	H5.5	208
Pertes de charges des tubes en cuivre et en acier, 50% glycol	H5.6	209
Pertes de charges des tubes en cuivre et en acier, 90% glycol	H5.7	210
Pertes de chaleur de tubes de cuivre isolés	H5.8	211
Pertes de chaleur de tubes d'acier isolés	H5.9	212
Capacité utile du vase d'expansion	H5.10	213
<hr/>		
Tablettes caractéristiques antigél	H6	214
Protection contre le gel	H6.1	214
Courbes d'ébullition	H6.2	215
Pertes de charge relatives	H6.3	216
Chaleur spécifique	H6.4	217
Densité	H6.5	218
Expansion	H6.6	219
Transmission thermique	H6.7	220
<hr/>		
Energie solaire – aspects financiers	H7	221
Argumentation	H7.1	221
Rentabilité	H7.2	222
Tablette facteur d'annuités	H7.3	223
Tablette facteur moyen augmentation prix énergie	H7.4	224
<hr/>		
Normes de sécurité lors du montage	H8	225

Glossaire	H9	228
Bibliographie	H10	231
Adresses utiles	H11	232

2. Grandeurs et unités, aspects énergétiques

2.1 Grandeurs et unités couramment utilisées

Préfixes	x 1'000'000	10 ⁶	M	méga
	x 1'000	10 ³	k	kilo
	x 100	10 ²	h	hecto
	x 0.1	10 ⁻¹	d	déci
	x 0.01	10 ⁻²	c	centi
	x 0.001	10 ⁻³	m	milli

Grandeurs

• Energie	recommandé	MJ	mégajoule
	courant	kWh	kilowattheure
	abandonné	kcal	kilocalorie

$$1 \text{ kWh} = 1 \text{ kW} \times 1 \text{ h} = 3.6 \text{ MJ} = 860 \text{ kcal}$$

$$1 \text{ MJ} = 0.278 \text{ kWh} = 239 \text{ kcal}$$

• Puissance	recommandé	kW	kilowatt
	abandonné	kcal/h	kilocalorie par heure

$$1 \text{ kW} = 1000 \text{ J/s} = 3.6 \text{ MJ/h} = 860 \text{ kcal/h}$$

$$1 \text{ kcal/h} = 1.162 \text{ W}$$

• Température	courant	°C	degré Celsius
	recommandé*	K	Kelvin

$$0^\circ\text{C} = 273,15 \text{ K} \quad 100^\circ\text{C} = 373.15 \text{ K}$$

* Remarque: Dans la pratique, on utilise pratiquement toujours le degré Celsius pour caractériser un niveau de température («... une température de départ de 64°C...»). Par contre, une différence de température doit toujours être exprimée en Kelvin («...une différence de température entre aller et retour de 14 K...»)

• Pression	recommandée	Pa	pascal
	recommandée	bar	bar
	courante	mCE	mètre de colonne d'eau

$$10'000 \text{ Pa} = 10 \text{ kPa} = 0.1 \text{ bar} = \text{env. } 1 \text{ mCE}$$

$$1 \text{ bar} = \text{env. } 10 \text{ mCE}$$

$$1 \text{ mbar} = \text{env. } 10 \text{ mmCE}$$

$$1 \text{ kPa} = \text{env. } 100 \text{ mmCE}$$

$$1 \text{ Pa} = \text{env. } 0,1 \text{ mm CE}$$

2.2 Apport énergétique d'une installation solaire

Thermique basse température ($T_{\max} < 60^{\circ}\text{C}$) p. ex. préchauffage de l'eau chaude sanitaire	1m ² produit	500-700 kWh/an
Thermique moyenne température, avec stockage p. ex. appoint au chauffage des locaux	1m ² produit	300-600 kWh/an
Photovoltaïque, centrales couplées au réseau, 1994	1m ² produit	80-120 kWh/an

2.3 Equivalences énergétiques

Chaleur massique

Energie nécessaire pour élever la température de 1 m³ (1000 l) d'eau pure de 1 degré

1.15 kWh ou 4.2 MJ

Pouvoir calorifique inférieur (PCI) valeurs arrondies

Le «pouvoir calorifique» représente la quantité d'énergie thermique dégagée par la combustion idéale d'une masse donnée de combustible. Le terme «inférieure» veut dire que l'on ne tient pas compte de la chaleur de condensation de la vapeur d'eau contenue dans les gaz de combustion.

Mazout EL	10 kWh/l	42.7 MJ/kg	1l = 0.84 kg
Gaz naturel	10.1 kWh/m ³	36.3 MJ/m ³	(compteur)
Bois de feu	Humidité environ 15% (source: Chaleur par le bois, OFQC 1988)		
- résineux 350 kg/stère	4.4 kWh/kg 1540 kWh/stère	15.8 MJ/kg 5500 MJ/stère	
- feuillus 500 kg/stère	4 kWh/kg 2000 kWh/stère	14.4 MJ/kg 7200 MJ/stère	

2.4 Rendement annuel des appareils de production de chaleur (sur PCI)

Par «rendement instantané», on entend le rapport entre la consommation de combustible et l'énergie thermique mesurée à la sortie du producteur de chaleur, en régime permanent (p. ex., avec un brûleur fonctionnant sans arrêt).

	Rend. instantané	Rend. annuel
Chaudières mazout ou gaz		
Chaudières anciennes	75 - 85 %	65 - 75 %
Chaudières modernes	88 - 93 %	75 - 85 %
Chaudières à condensation	97 - 103 %	85 - 95 %
Chaudière électrique à accumulation	95 - 97 %*	60 - 90 %*
Radiateurs électriques	99 %*	99 %*
Chaudière bois		
Chaudière ancienne	50 - 70 %	**
Chaudière moderne à gazéification	75 - 85 %	**

* Pertes à la production et au transport de l'énergie électrique non comprises

** Selon type et usage de l'installation

2.5 Consommations d'énergie

Un ménage de 4 personnes consomme en moyenne, par année:

	en villa	en appartement
- chauffage des locaux	20'000 kWh	13'000 kWh
- production d'eau chaude sanitaire	3'500 kWh	3'500 kWh
- électricité	3'500 kWh	3'000 kWh
- une voiture moyenne*, 20'000 km	20'000 kWh	20'000 kWh
TOTAL	47'000 kWh	39'500 kWh

* voiture essence: env. 100 kWh/100 km

voiture électrique: 10-25 kWh/100 km

Soleil – Terre

Hauteur h et azimut a du soleil pour 47° latitude à chaque heure pour le 15 du mois														
Heure	a h	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Heure
5	h					4.1	7.4	6.1	0.4					19.0
	a					113.6	116.5	115.3	110.4					
6	h				7.2	13.8	16.9	15.6	10.2	2.2				18.0
	a				96.7	103.0	108.2	104.9	99.6	92.0				
7	h		0.6	8.5	17.3	23.8	26.8	25.6	20.3	12.3	3.6			17.0
	a		70.5	77.5	85.7	92.4	96.0	94.5	88.7	80.9	73.1			
8	h	3.0	9.8	18.2	27.3	33.9	37.0	35.8	30.4	22.1	13.0	5.0	1.2	16.0
	a	54.0	59.1	65.6	73.9	81.1	85.0	83.3	77.0	69.0	61.5	55.5	52.7	
9	h	10.5	17.9	26.9	36.7	43.7	48.9	45.6	40.0	31.1	21.3	12.8	8.6	15.0
	a	42.2	46.5	52.4	60.3	67.8	72.1	70.3	63.6	55.5	48.6	43.4	41.1	
10	h	16.5	24.3	34.0	44.7	52.5	56.1	54.6	48.3	38.6	28.1	18.8	14.4	14.0
	a	29.1	32.4	37.1	43.9	51.0	55.3	53.4	46.9	39.7	34.1	30.1	28.3	
11	h	20.3	28.6	38.9	50.4	59.0	63.1	61.4	54.4	43.7	32.5	22.8	18.1	13.0
	a	14.9	16.7	19.4	23.6	28.4	31.7	30.2	25.5	21.0	17.7	15.4	14.5	
12	h	21.6	30.0	40.6	52.5	61.5	65.9	64.1	56.6	45.6	34.1	24.1	19.4	12.0
	a	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

Table de transformation de l'heure légale (H lég.) en heure vraie (H vraie) pour une longitude de 8°47' selon l'équation : H vraie = H légale - Δt (min)												
Jour	Janvier	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.
1	28	38	37	29	22	22	28	31	25	15	8	14
2	28	39	37	29	22	22	28	31	25	14	8	14
3	29	39	37	28	22	22	29	31	24	14	8	14
4	29	39	37	28	22	23	29	31	24	14	8	15
5	30	39	37	28	21	23	29	31	24	13	8	15
6	30	39	36	27	21	23	29	31	23	13	8	15
7	31	39	36	27	21	23	29	30	23	12	8	16
8	31	39	36	27	21	23	29	30	23	13	9	16
9	32	39	36	27	21	23	30	30	22	12	9	17
10	32	39	36	26	21	24	30	30	22	12	9	17
11	32	39	35	26	21	24	30	30	22	12	9	18
12	33	39	35	26	21	24	30	30	21	12	9	18
13	33	39	35	26	21	24	30	30	21	11	9	19
14	34	39	34	25	21	25	30	29	21	11	9	19
15	34	39	34	25	21	25	30	29	20	11	9	20
16	34	39	34	25	21	25	30	29	20	11	9	20
17	35	39	33	25	21	25	31	29	20	10	10	21
18	35	39	33	24	21	25	31	29	19	10	10	21
19	35	39	33	24	21	26	31	28	19	10	10	22
20	36	39	33	24	21	26	31	28	18	10	10	22
21	36	39	32	24	21	26	31	28	18	10	10	23
22	36	39	32	23	21	26	31	28	18	9	11	23
23	37	38	32	23	21	26	31	27	17	9	11	24
24	37	38	31	23	21	27	31	27	17	9	11	24
25	37	38	31	23	21	27	31	27	17	9	12	24
26	37	38	31	23	21	27	31	27	16	9	12	25
27	37	38	30	22	22	27	31	26	16	9	12	25
28	38	38	30	22	22	28	31	26	16	9	12	26
29	38	38	30	22	22	28	31	26	15	9	13	26
30	38		30	22	22	28	31	26	15	9	13	27
31	38		29		22		31	25		9		27

Exemple de test d'un capteur solaire

Solarenergie Prüf- und Forschungsstelle
Technikum Rapperswil

Rapport d'essais

Mandant

Entreprise :
Département / Personne de contact :
Rue :
NPA, Localité :
Téléphone :
Téléfax :

1 Présentation et description du capteur

- Fabricant :
- Désignation du type :
- Date de fabrication :
- Modèle de série :
(indiquer s'il s'agit d'un prototype)
- Prix de vente net final :
(Prix pour le maître de l'ouvrage rapporté à
l'unité de surface absorbante valable pour
une livraison de 10 m² sans montage)
- Genre de construction/conception :
- Surface absorbante :
- Dimensions de l'absorbeur :
- Surface brute :
- Dimensions brutes :
- Pression maximum de service :
- Débit conseillé [l/h·m²] :
(à travers le capteur, rapporté à la surface absorbante)
- Débit lors des essais [l/h·m²] :
(à travers le capteur, rapporté à la surface absorbante)
- Perte de charge spécifique [Pa/m²] :
(pour un mélange 1/3 de Glycol et 2/3 d'eau,
au débit recommandé et une température
de 20°C à la surface de l'absorbeur)

Solarenergie Prüf- und Forschungsstelle Technikum Rapperswil

2 Genre de construction et matériaux

- Couverture(s) transparente(s)
 - matériau(x) :
 - épaisseur(s) [mm] :
- Absorbeur
 - désignation du type :
 - contenu en caloporteur [l/m^2] :
 - poids de l'absorbeur [kg/m^2] :
 - matériau absorbant :
 - matériau de la couche superficielle :
- Matériau(x) du cadre porteur :
- Matériau(x) d'isolation thermique et épaisseur(s) :
- Illustration schématique du capteur :

Solarenergie Prüf- und Forschungsstelle

Technikum Rapperswil

3 Résultats de mesure

3.1 Equation du rendement

Equation du rendement du capteur (rapporté à la surface absorbante).

$$\eta = c_0 - c_1 \cdot x - c_2 \cdot G_K \cdot x^2$$

$$c_0 = 0.8634 \qquad c_1 = 4.04 \qquad c_2 = 0.0060$$

$$x = (T_m - T_a) / G_K$$

c_0	constante algébrique caractéristique du capteur	[-]
c_1	constante algébrique caractéristique du capteur	[W/m ² ·K]
c_2	constante algébrique caractéristique du capteur	[W/m ² ·K ²]
T_m	température moyenne du caloporteur dans le capteur	[°C]
T_a	température ambiante	[°C]
x	variable caractéristique	[m ² ·K/W]
G_K	éclairage énergétique global dans le plan du capteur	[W/m ²]

Rendements pour trois régimes de fonctionnement caractéristiques:

$$\eta_{CH} = 0.863 \quad [-]$$

rendement du capteur lorsque $x = 0$, c'est-à-dire lorsque la température moyenne du caloporteur dans le capteur est égale à la température ambiante

$$\eta_{0.05} = 0.649 \quad [-]$$

rendement du capteur lorsque $x = 0.05$, c'est-à-dire lorsque, par ex., la température moyenne du caloporteur dans le capteur est de 40 °C supérieure à la température ambiante sous un éclairage global de 800 W/m²

$$\eta_{0.1} = 0.411 \quad [-]$$

rendement du capteur lorsque $x = 0.1$, c'est-à-dire lorsque, par ex., la température moyenne du caloporteur dans le capteur est de 80 °C supérieure à la température ambiante sous un éclairage global de 800 W/m²

3.2 Facteur d'incidence du capteur (Incident Angle Modifier)

Le facteur d'incidence est défini comme le rapport entre le rendement optique mesuré pour un angle d'incidence donné (ici 50°) au rendement optique mesuré à incidence normale (le rendement optique est le rendement du capteur lorsque la température (moyenne) du capteur est égale à la température ambiante).

Pour chaque capteur, qu'il soit plan ou tubulaire, un facteur d'incidence est déterminé:

- 1) pour une déviation de l'angle d'inclinaison du capteur
- 2) pour une déviation de l'azimut du capteur

Si ces deux grandeurs diffèrent l'une de l'autre, elles sont indiquées toutes les deux (dans le cas d'un capteur tubulaire évacué, ces deux grandeurs sont toujours différentes; il s'agit des facteurs d'incidence dans le plan de l'axe des tubes et dans le plan perpendiculaire à celui-ci).

$$K_{CH} = 0.94 \quad [-]$$

3.3 Rapport de surface V de la surface absorbante à la surface brute

$$V = (\text{Surface absorbante/Surface brute}) = 0.877 \quad [-]$$

Solarenergie

Prüf- und Forschungsstelle
Technikum Rapperswil

3.4 Présentation graphique des résultats

Figure 1 Courbe de rendement calculée sur la base des points de mesure indiqués, sans correction saisonnière, et rapportée à la surface absorbante. Chaque point représente un groupe de mesures. La valeur moyenne de l'éclairement énergétique global pendant les essais s'élevait à 992 W/m^2

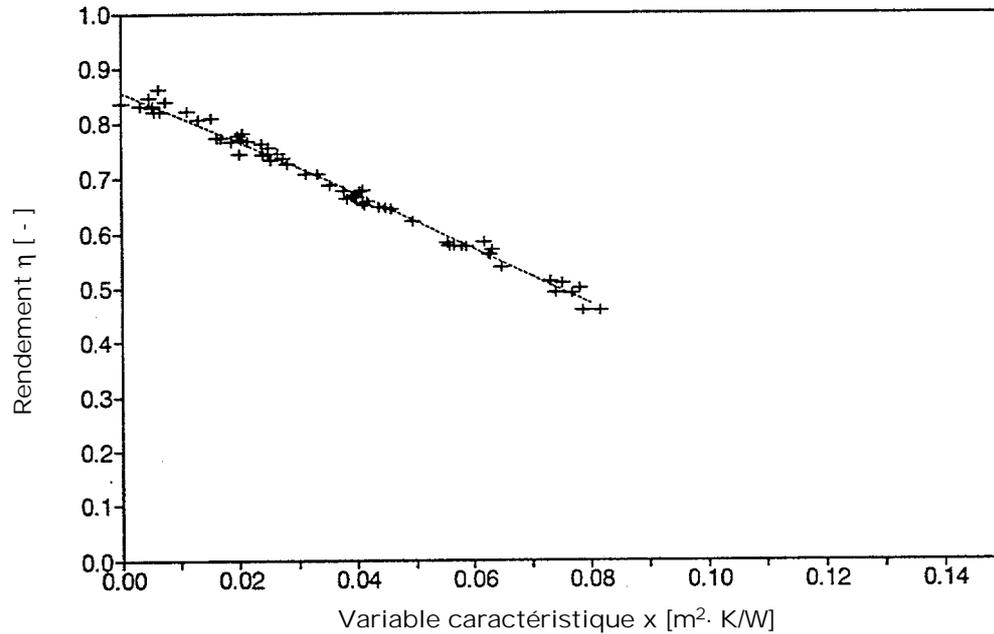
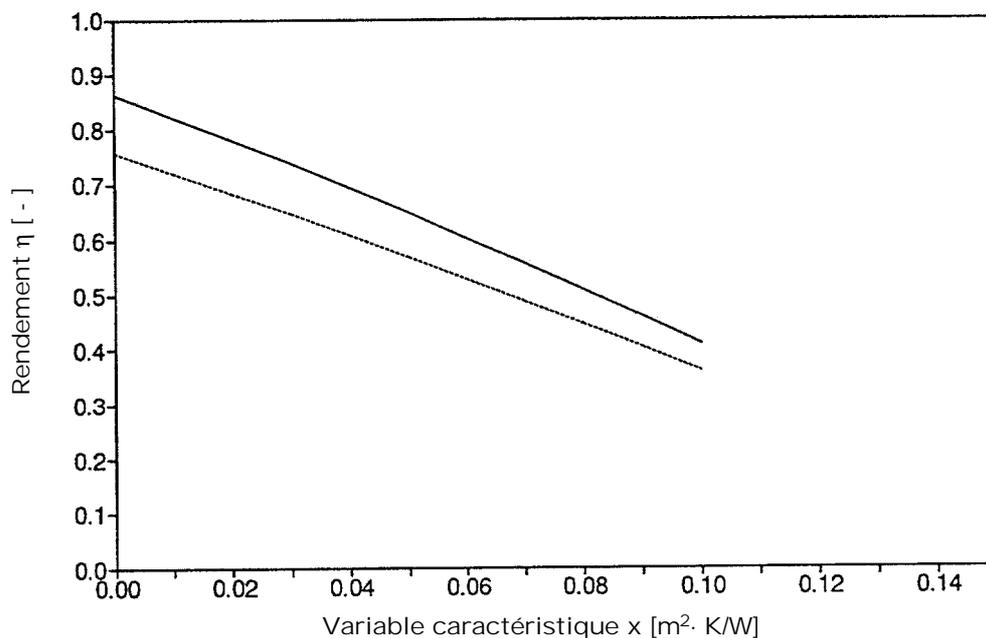


Figure 2 Courbe de rendement après correction saisonnière, rapportée à la surface absorbante (---) respectivement à la surface brute (—), pour un éclairement global de 800 W/m^2 (valeur normalisée ISO). $V = 0.88$



Solarenergie Prüf- und Forschungsstelle

Technikum Rapperswil

4.1 Energie utilisable pour le site de KLOTEN

Paramètres du capteur: $c_0 =$ [-] $c_1 =$ [W/m²K] $c_2 =$ [W/m²K²] $K_{CH} =$ [-]

Mois	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année	%
Globa1	25.8	45.8	81.3	113.9	155.9	170.3	183.1	137.6	102.0	60.0	28.8	19.0	1123.7	
GK 30°/±0°	35.7	62.5	99.9	126.8	161.8	170.8	187.3	149.4	124.2	80.0	41.2	26.2	1265.9	
BWE(30°C)	10.0	27.6	53.8	78.4	108.6	120.4	136.4	105.5	84.6	46.7	17.4	5.6	795.0	62.8
BWE(40°C)	7.5	22.4	45.5	68.1	96.3	107.0	121.9	93.2	74.1	39.4	13.9	3.9	693.4	54.8
BWE(50°C)	5.6	18.2	38.4	59.0	84.9	95.1	108.8	82.1	64.7	33.3	11.0	2.8	604.0	47.7
BWE(100°C)	0.6	4.5	13.4	25.5	40.6	46.5	54.4	38.5	28.6	11.6	2.1	0.2	266.5	21.1
GK 45°/±0°	38.6	66.7	102.1	124.2	153.1	159.1	176.0	144.5	125.8	84.2	44.5	28.3	1247.2	
BWE(30°C)	12.7	31.8	56.5	76.6	100.9	109.5	125.6	101.1	86.6	51.1	20.9	7.5	780.7	62.6
BWE(40°C)	10.0	26.5	48.4	66.6	89.0	96.7	111.6	89.2	76.2	43.8	17.2	5.6	680.9	54.6
BWE(50°C)	7.9	22.2	41.3	57.9	78.1	85.2	98.9	78.4	67.0	37.8	14.2	4.2	593.0	47.5
BWE(100°C)	1.7	6.9	15.9	25.5	36.3	39.9	47.7	36.6	31.1	15.2	4.0	0.6	261.5	21.0
GK 60°/±0°	39.7	67.7	99.4	115.6	137.2	140.2	156.2	132.4	120.9	84.0	45.6	29.0	1168.0	
BWE(30°C)	14.1	33.2	54.8	69.2	86.2	91.6	106.6	90.0	82.5	51.5	22.4	8.5	710.7	60.9
BWE(40°C)	11.4	28.0	47.0	59.8	74.8	79.3	93.0	78.5	72.4	44.5	18.8	6.5	614.1	52.6
BWE(50°C)	9.2	23.6	40.1	51.6	64.9	68.6	81.1	68.4	63.5	38.6	15.7	5.1	530.5	45.4
BWE(100°C)	2.4	7.9	15.5	21.5	27.1	28.2	35.1	29.8	28.9	16.0	5.1	1.0	218.6	18.7
GK 90°/±0°	36.5	60.0	80.0	83.0	89.8	88.3	99.4	91.4	93.1	70.9	41.0	26.7	860.1	
BWE(30°C)	12.9	27.5	38.7	40.1	41.6	42.2	51.8	51.1	56.8	41.0	19.8	7.9	431.5	50.2
BWE(40°C)	10.4	22.9	32.0	32.4	32.1	31.3	39.6	41.0	47.9	34.8	16.5	6.1	347.1	40.4
BWE(50°C)	8.3	18.9	26.2	25.9	24.5	23.0	30.0	32.6	40.2	29.5	13.7	4.8	277.4	32.3
BWE(100°C)	2.0	5.1	6.8	5.5	2.3	0.8	2.4	6.0	12.1	9.6	3.9	0.9	57.4	6.7
GK 30°/±30°	35.4	62.6	100.4	127.6	163.0	173.2	190.3	149.6	120.8	75.2	39.9	25.6	1263.6	
BWE(30°C)	8.9	25.5	51.2	76.2	107.2	119.6	135.2	103.3	81.2	43.7	15.8	4.8	772.7	61.1
BWE(40°C)	6.5	20.8	43.2	66.0	94.7	106.1	120.5	91.0	70.8	36.6	12.4	3.3	671.5	53.1
BWE(50°C)	4.8	16.5	36.1	57.0	83.5	94.0	107.3	80.0	61.6	30.7	9.6	2.3	583.3	46.2
BWE(100°C)	0.4	3.6	12.1	24.2	39.6	45.8	53.5	37.1	26.5	10.0	1.6	0.1	254.4	20.1
GK 45°/±30°	38.1	67.0	103.0	125.5	155.5	162.9	180.4	145.3	121.2	77.4	42.7	27.4	1246.5	
BWE(30°C)	11.1	29.0	53.2	73.9	99.7	109.4	125.0	98.8	82.1	47.0	18.6	6.4	754.5	60.5
BWE(40°C)	8.7	24.0	45.4	64.1	87.7	96.3	110.7	86.7	71.9	40.0	15.1	4.7	655.2	52.6
BWE(50°C)	6.7	19.8	38.5	55.5	76.9	84.7	98.0	76.1	62.9	34.2	12.2	3.5	569.0	45.7
BWE(100°C)	1.2	5.7	14.3	24.2	36.0	39.8	47.6	35.4	28.5	12.9	3.1	0.4	249.0	20.0
GK 60°/±30°	39.0	68.0	100.6	117.6	141.1	145.7	162.4	134.1	115.9	76.0	43.4	28.0	1172.0	
BWE(30°C)	12.2	29.9	51.2	66.8	86.3	93.0	107.9	88.4	77.5	46.7	19.6	7.2	686.8	58.6
BWE(40°C)	9.7	25.0	43.7	57.6	74.8	80.3	93.9	76.7	67.6	39.9	16.2	5.4	590.9	50.4
BWE(50°C)	7.7	20.9	37.1	48.6	64.9	69.5	81.9	66.7	59.1	34.3	13.3	4.1	509.2	43.4
BWE(100°C)	1.7	6.6	14.0	20.8	27.8	29.2	36.3	29.2	26.3	13.4	3.8	0.6	209.9	17.9
GK 30°/±45°	34.0	60.6	98.2	126.0	162.6	173.6	190.8	148.2	116.5	71.0	37.9	24.5	1243.9	
BWE(30°C)	7.6	23.1	48.2	73.5	105.2	118.4	133.5	100.6	77.2	40.3	13.9	4.0	745.4	59.9
BWE(40°C)	5.4	18.3	40.2	63.3	92.8	104.8	118.7	88.3	66.8	33.3	10.6	2.6	645.1	51.9
BWE(50°C)	3.8	14.4	33.4	54.5	81.5	92.7	105.5	77.3	57.8	27.6	8.0	1.7	558.2	44.9
BWE(100°C)	0.2	2.7	10.5	22.6	38.3	44.6	52.0	35.2	23.8	8.1	1.0	0.0	239.1	19.2
GK 45°/±45°	36.1	64.2	100.2	123.8	155.5	164.1	181.8	143.8	116.1	71.7	39.9	25.8	1223.1	
BWE(30°C)	9.3	25.7	49.3	70.8	97.9	108.6	123.9	95.9	77.0	42.4	15.9	5.2	721.9	59.0
BWE(40°C)	7.1	21.0	41.6	61.1	85.8	95.3	109.2	83.7	66.9	35.6	12.6	3.7	623.6	51.0
BWE(50°C)	5.3	17.1	35.1	52.7	75.3	83.7	96.5	73.3	58.1	30.1	10.0	2.6	539.8	44.1
BWE(100°C)	0.7	4.4	12.4	22.5	35.1	39.4	47.0	33.7	25.3	10.4	2.1	0.2	233.1	19.1
GK 60°/±45°	36.7	64.7	97.6	116.1	142.1	148.4	165.6	133.4	110.0	69.2	40.0	26.0	1149.8	
BWE(30°C)	10.1	26.1	46.8	63.8	85.6	93.6	108.2	86.0	71.9	41.3	16.5	5.8	655.5	57.0
BWE(40°C)	7.8	21.5	39.6	54.6	73.8	80.6	93.8	74.1	62.1	34.9	13.3	4.2	560.4	48.7
BWE(50°C)	6.0	17.7	33.6	46.9	63.9	69.6	81.6	64.1	53.9	29.6	10.7	3.1	480.7	41.8
BWE(100°C)	1.0	5.1	12.2	19.6	28.0	30.0	37.0	28.1	23.2	10.6	2.6	0.3	197.8	17.2

Notations: Global : irradiation globale mensuelle dans le plan horizontal [kWh/m²]
 G_K : irradiation globale mensuelle dans le plan du capteur (incl.; azimut) [kWh/m²]
 BWE(T_m) : énergie utilisable pour une température moyenne du caloporteur T_m [kWh/m² de surf.absorb.]
 % : rendement annuel moyen du capteur [%]

BWE91.01/4/

Solarenergie Prüf- und Forschungsstelle

Technikum Rapperswil

4.2 Energie utilisable pour le site de KLOTEN

Paramètres du capteur: $c_0 =$ [-] $c_1 =$ [W/m²K] $c_2 =$ [W/m²K²] $K_{CH} =$ [-]

Mois	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année	%
Global	47.3	69.2	115.6	149.8	169.4	166.1	170.2	141.3	117.5	88.1	48.6	39.8	1322.8	
GK 30°/±0°	80.2	101.4	147.2	187.8	174.4	165.0	173.3	154.4	147.8	131.6	78.3	72.6	1593.9	
BWE(30°C)	37.6	53.4	85.4	103.1	110.5	108.0	117.9	103.5	100.4	87.6	41.3	33.0	981.7	61.6
BWE(40°C)	31.8	46.0	75.3	91.5	97.8	95.3	105.0	92.1	89.7	78.5	35.2	27.6	865.7	54.3
BWE(50°C)	26.5	39.3	66.0	80.5	86.1	83.9	93.4	81.7	79.9	69.8	29.9	22.7	759.9	47.7
BWE(100°C)	7.1	14.6	30.2	37.4	40.4	39.3	46.6	40.2	40.1	33.1	10.1	4.9	344.1	21.6
GK 45°/±0°	91.2	110.9	153.8	166.2	164.5	152.7	162.1	149.4	151.1	142.8	87.7	84.0	1616.4	
BWE(30°C)	47.8	62.3	91.6	101.9	102.0	97.0	107.5	99.1	103.8	98.4	50.4	43.6	1005.2	62.2
BWE(40°C)	41.6	54.7	81.6	90.5	89.9	85.0	95.2	88.1	93.2	89.3	44.0	37.8	890.8	55.1
BWE(50°C)	36.1	47.7	72.3	79.7	78.7	74.2	84.1	78.0	83.5	80.6	38.5	32.6	786.0	48.8
BWE(100°C)	13.9	21.1	35.9	37.8	36.0	33.1	40.4	38.2	43.9	42.4	16.7	11.7	371.0	23.0
GK 60°/±0°	97.5	115.1	153.4	157.4	147.5	134.0	143.2	136.8	146.1	145.7	92.4	91.0	1559.9	
BWE(30°C)	53.5	66.0	91.3	93.8	86.5	79.5	89.7	87.6	99.3	101.5	55.0	49.9	953.4	61.1
BWE(40°C)	47.2	58.4	81.5	82.6	74.9	68.2	78.1	77.0	89.0	92.4	48.6	44.0	841.9	54.0
BWE(50°C)	41.6	51.4	72.4	72.4	64.4	58.3	67.8	67.5	79.6	83.8	43.0	38.6	740.7	47.5
BWE(100°C)	18.2	24.3	36.5	32.7	26.4	22.4	28.8	30.6	41.1	45.3	20.4	16.2	342.8	22.0
GK 90°/±0°	94.6	106.4	132.6	121.2	97.6	84.1	90.2	93.3	112.6	126.7	86.9	89.9	1236.2	
BWE(30°C)	51.2	58.0	71.2	59.0	40.0	33.2	39.4	46.7	67.5	83.9	50.7	49.2	650.1	52.6
BWE(40°C)	45.1	50.7	62.1	49.2	30.7	24.1	29.8	37.9	58.4	75.3	44.7	43.4	551.4	44.6
BWE(50°C)	39.6	44.1	54.0	40.6	23.0	17.1	22.3	30.3	50.5	67.1	39.3	38.1	466.0	37.7
BWE(100°C)	16.6	18.9	22.5	11.2	2.4	0.5	1.5	5.9	18.8	31.1	17.6	15.8	162.7	13.2
GK 30°/±30°	78.0	100.9	148.5	171.3	179.1	170.6	180.3	158.8	147.7	125.6	73.7	69.0	1603.5	
BWE(30°C)	33.4	49.1	80.8	100.1	109.3	107.4	116.9	101.2	95.8	80.9	37.3	28.8	940.9	58.7
BWE(40°C)	27.8	42.0	70.9	88.6	96.5	94.8	104.2	89.8	85.4	72.1	31.3	23.7	827.0	51.6
BWE(50°C)	22.9	35.5	61.9	77.9	84.8	83.5	92.6	79.6	75.8	63.9	26.2	19.1	723.5	45.1
BWE(100°C)	5.1	12.3	27.6	35.7	39.8	39.1	46.2	38.8	37.5	28.7	7.8	3.2	321.7	20.1
GK 45°/±30°	88.2	110.2	155.6	171.0	171.5	161.0	172.1	155.6	151.0	134.4	81.2	78.9	1630.6	
BWE(30°C)	41.8	56.3	85.3	98.2	101.2	97.3	107.4	96.7	97.6	89.1	44.6	37.6	953.3	58.5
BWE(40°C)	35.9	49.0	75.6	87.0	89.0	85.3	95.2	85.7	87.4	80.3	38.6	32.2	841.3	51.6
BWE(50°C)	30.8	42.4	66.8	76.6	77.9	74.6	84.2	75.9	78.1	72.2	33.3	27.3	740.0	45.4
BWE(100°C)	10.5	17.7	32.6	36.0	36.1	33.8	41.0	37.2	40.5	36.3	13.2	8.3	343.4	21.1
GK 60°/±30°	93.8	114.2	155.8	163.7	156.6	144.4	155.8	144.8	146.3	135.5	84.4	84.7	1580.2	
BWE(30°C)	46.2	58.8	84.0	90.4	87.0	81.7	91.5	86.0	92.4	90.1	48.0	42.7	898.7	56.9
BWE(40°C)	40.2	51.6	74.6	79.5	75.4	70.3	79.9	75.6	82.6	81.6	41.9	37.1	790.4	50.0
BWE(50°C)	35.0	45.0	65.9	69.6	65.1	60.4	69.8	66.5	73.8	73.7	36.6	32.0	693.5	43.9
BWE(100°C)	13.8	20.1	32.9	32.0	27.9	24.6	31.0	31.0	38.1	38.4	16.1	11.8	317.7	20.1
GK 30°/±45°	73.5	96.9	145.0	169.9	179.9	172.6	182.5	158.6	143.6	118.1	68.4	63.8	1572.7	
BWE(30°C)	28.6	44.1	75.5	96.6	107.4	106.4	115.5	98.4	90.3	73.5	32.5	24.1	892.7	56.8
BWE(40°C)	23.3	37.2	65.8	85.2	94.7	93.9	102.8	87.1	80.0	65.0	26.8	19.3	780.9	49.7
BWE(50°C)	18.7	31.0	57.0	74.6	83.1	82.6	91.2	77.0	70.8	57.1	22.0	15.1	680.3	43.3
BWE(100°C)	3.1	9.7	24.4	33.5	38.7	38.6	45.3	37.1	34.0	24.1	5.6	1.5	295.6	18.8
GK 45°/±45°	81.7	104.7	151.0	169.7	173.4	164.3	175.7	155.8	145.8	123.7	73.7	71.6	1591.3	
BWE(30°C)	35.1	49.5	78.3	94.0	99.5	97.0	106.6	93.6	90.6	79.0	38.0	30.9	892.2	56.1
BWE(40°C)	29.6	42.6	68.9	83.0	87.4	84.9	94.3	82.8	80.8	70.7	32.3	25.9	783.1	49.2
BWE(50°C)	24.8	36.4	60.4	72.8	76.5	74.3	83.6	73.3	71.9	63.0	27.4	21.5	685.9	43.1
BWE(100°C)	7.1	14.0	28.5	33.9	35.5	34.1	41.0	36.0	36.5	30.1	9.6	5.1	311.5	19.6
GK 60°/±45°	85.9	107.4	150.4	162.7	159.9	149.4	161.3	145.7	140.5	123.1	75.5	75.8	1537.7	
BWE(30°C)	38.1	50.8	76.1	86.3	86.6	82.9	92.3	83.5	84.9	78.3	40.0	34.6	834.2	54.3
BWE(40°C)	32.6	44.1	67.0	75.6	74.9	71.3	80.4	73.1	75.5	70.2	34.4	29.4	728.5	47.4
BWE(50°C)	27.8	38.0	59.0	66.0	64.8	61.5	70.4	64.4	67.2	62.8	29.6	24.9	636.2	41.4
BWE(100°C)	9.5	15.8	28.7	30.3	28.6	26.2	32.5	30.5	34.0	31.2	11.6	7.6	286.5	18.6

Notations: Global : irradiation globale mensuelle dans le plan horizontal [kWh/m²]
 G_K : irradiation globale mensuelle dans le plan du capteur (incl.; azimut) [kWh/m²]
 BWE(T_m) : énergie utilisable pour une température moyenne du caloporteur T_m [kWh/m² de surf.absorb.]
 % : rendement annuel moyen du capteur [%]

BWE91.01/4/

Solarenergie Prüf- und Forschungsstelle

Technikum Rapperswil

4.3 Energie utilisable pour le site de KLOTEN

Paramètres du capteur: $c_0 =$ [-] $c_1 =$ [W/m²K] $c_2 =$ [W/m²K²] $K_{CH} =$ [-]

Mois	Janv.	Fév.	Mars	Avril	Mai	Juin	Juil.	Août	Sept.	Oct.	Nov.	Déc.	Année	%
Global	49.9	65.5	112.7	143.5	172.1	182.0	199.1	163.7	117.5	86.3	43.3	42.6	1378.2	
GK 30°/±0°	87.7	97.2	145.7	161.4	178.1	181.5	203.3	179.5	145.3	125.4	70.9	78.5	1654.5	
BWE (30°C)	49.3	57.8	95.4	110.5	126.2	132.6	154.4	134.5	106.0	86.7	42.0	43.7	1139.1	68.8
BWE (40°C)	42.4	50.6	85.4	99.5	113.5	119.1	139.8	121.3	95.4	77.3	36.2	37.2	1017.8	61.5
BWE (50°C)	35.9	43.9	76.2	89.3	102.0	106.8	126.4	109.2	85.5	68.7	30.9	31.4	906.1	54.8
BWE(100°C)	10.3	17.0	37.6	46.4	53.9	56.0	68.2	57.9	43.8	31.6	10.7	7.9	441.3	26.7
GK 45°/±0°	100.1	106.1	150.9	158.1	167.8	168.3	190.3	173.8	147.7	135.0	79.3	90.5	1667.8	
BWE (30°C)	61.2	66.1	100.6	107.8	116.7	120.0	141.7	129.0	108.5	96.1	50.4	55.3	1153.2	69.1
BWE (40°C)	54.0	58.9	90.7	97.0	104.5	106.9	127.5	116.1	98.1	86.5	44.4	48.5	1033.1	61.9
BWE (50°C)	47.2	52.1	81.4	87.1	93.5	95.1	114.5	104.4	88.3	77.8	38.9	42.2	922.4	55.3
BWE(100°C)	18.2	23.4	42.5	45.4	48.0	47.7	59.5	54.8	46.7	39.4	16.9	15.7	458.4	27.5
GK 60°/±0°	106.8	109.2	147.8	146.7	149.5	147.1	167.8	158.9	142.1	136.8	83.1	97.3	1593.2	
BWE (30°C)	67.6	69.2	98.1	97.4	99.3	99.6	119.8	114.9	103.5	98.1	54.3	61.8	1083.7	68.0
BWE (40°C)	60.3	62.0	88.4	87.1	87.7	87.0	105.9	102.4	93.3	88.6	48.4	54.9	965.9	60.6
BWE (50°C)	53.4	55.2	79.4	77.5	77.3	76.0	93.7	91.1	83.7	79.8	42.8	48.4	858.3	53.9
BWE(100°C)	22.9	25.9	41.1	38.2	35.8	33.5	43.5	44.5	43.2	41.3	20.1	20.5	410.4	25.8
GK 90°/±0°	102.0	97.8	118.5	103.4	95.7	90.6	104.2	107.9	108.7	117.3	76.7	93.8	1216.7	
BWE (30°C)	63.7	59.2	70.8	56.4	47.8	45.3	57.6	65.0	71.5	80.0	49.3	59.2	725.8	59.7
BWE (40°C)	56.5	52.2	62.0	47.4	37.6	33.8	44.8	53.7	62.0	71.0	43.6	52.4	616.9	50.7
BWE (50°C)	49.6	45.7	53.9	39.3	29.3	25.0	34.4	43.9	53.5	62.7	38.3	46.1	521.7	42.9
BWE(100°C)	19.6	18.2	20.9	10.4	3.4	1.0	2.9	9.9	19.2	27.0	18.4	18.4	167.5	13.8
GK 30°/±30°	85.6	98.2	147.9	163.9	180.3	184.9	207.4	182.5	144.5	120.6	67.2	74.5	1657.4	
BWE (30°C)	44.5	53.8	91.1	107.8	124.5	131.9	153.0	131.8	101.9	81.3	38.2	38.9	1098.6	66.3
BWE (40°C)	37.9	46.8	81.4	96.8	112.0	118.2	138.2	118.6	91.2	72.0	32.6	32.6	978.3	59.0
BWE (50°C)	31.7	40.4	72.5	86.6	100.5	105.9	124.9	106.6	81.6	63.4	27.6	26.9	868.5	52.4
BWE(100°C)	7.8	14.6	34.8	44.4	52.9	55.5	67.3	56.0	40.9	28.0	8.6	5.5	416.1	25.1
GK 45°/±30°	97.1	107.5	154.3	162.0	171.7	173.4	196.5	178.5	146.8	128.3	74.0	84.7	1674.7	
BWE (30°C)	54.3	60.9	95.1	104.8	115.6	120.2	141.1	126.3	103.2	88.5	44.9	48.5	1103.3	65.9
BWE (40°C)	47.5	53.9	85.7	94.1	103.3	106.8	126.6	113.3	92.8	79.2	39.2	42.0	984.3	58.8
BWE (50°C)	41.1	47.4	76.9	84.3	92.4	95.1	113.6	101.5	83.3	70.6	34.1	36.0	876.3	52.3
BWE(100°C)	14.5	20.2	39.2	43.6	47.6	48.0	59.4	53.1	43.3	34.7	13.7	11.8	429.1	25.6
GK 60°/±30°	103.2	111.0	152.3	152.2	155.4	154.5	176.4	165.6	141.6	128.9	76.7	90.2	1608.0	
BWE (30°C)	59.2	63.0	92.3	95.1	99.9	101.9	121.3	113.2	97.7	88.9	47.6	53.5	1033.6	64.3
BWE (40°C)	52.3	56.1	83.1	84.8	88.0	88.9	107.1	100.5	87.5	79.8	42.0	47.0	917.1	57.0
BWE (50°C)	45.8	49.6	74.6	75.5	77.8	77.9	94.8	89.4	78.4	71.5	37.0	40.8	813.1	50.6
BWE(100°C)	18.4	22.5	38.1	37.5	37.0	35.5	45.3	44.3	40.1	36.0	16.1	15.6	388.2	24.0
GK 30°/±45°	80.5	94.8	144.8	162.5	180.2	185.8	208.3	181.8	140.6	114.4	62.5	68.7	1624.8	
BWE (30°C)	38.9	49.1	86.0	104.4	122.5	130.8	151.1	128.5	97.0	74.8	33.8	33.3	1050.1	64.6
BWE (40°C)	32.5	42.3	76.5	93.5	109.8	116.9	136.2	115.2	86.5	65.8	28.4	27.3	930.8	57.3
BWE (50°C)	26.8	36.1	67.7	83.5	98.4	104.6	122.8	103.2	77.0	57.6	23.6	22.0	823.2	50.7
BWE(100°C)	5.2	11.9	31.3	42.0	51.3	54.5	65.6	53.4	37.4	24.0	6.2	3.1	385.9	23.7
GK 45°/±45°	89.9	102.8	150.5	160.8	172.3	175.4	198.5	178.0	142.2	119.7	67.4	76.6	1634.3	
BWE (30°C)	46.5	54.5	88.7	100.9	113.7	119.7	139.8	122.6	97.1	79.8	38.8	40.7	1043.1	63.8
BWE (40°C)	40.2	47.9	79.4	90.4	101.3	106.1	125.0	109.5	86.7	71.0	33.5	34.6	925.5	56.6
BWE (50°C)	34.2	41.8	70.9	80.9	90.5	94.3	112.0	98.1	77.5	62.9	28.6	29.1	820.8	50.2
BWE(100°C)	10.4	16.7	35.1	41.4	46.7	48.0	58.8	51.0	39.2	29.3	10.1	7.7	394.5	24.1
GK 60°/±45°	94.4	105.4	148.4	151.5	157.2	158.2	180.3	166.1	136.4	118.8	68.8	80.3	1565.9	
BWE (30°C)	49.8	55.5	85.2	91.6	99.4	103.2	121.9	110.4	91.3	78.9	40.4	44.1	971.7	62.1
BWE (40°C)	43.6	49.1	76.2	81.4	87.2	89.8	107.2	97.4	81.1	70.3	35.1	38.1	856.5	54.7
BWE (50°C)	37.6	43.2	68.3	72.4	76.9	78.5	94.6	86.4	72.3	62.4	30.5	32.5	755.5	48.2
BWE(100°C)	13.3	18.6	34.3	35.9	37.2	36.9	46.1	42.9	38.1	29.9	11.8	10.5	353.5	22.6

Notations: Global : irradiation globale mensuelle dans le plan horizontal [kWh/m²]
 GK : irradiation globale mensuelle dans le plan du capteur (incl.; azimuth) [kWh/m²]
 BWE(T_m) : énergie utilisable pour une température moyenne du caloporteur T_m [kWh/m² de surf.absorb.]
 % : rendement annuel moyen du capteur [%]

BWE91.01/4/

USTSC Manuel 5 Eau de boisson						
Besoin en eau						
Tableau: Besoins en eau chaude						
Exploitation des mesures et statistiques de consommation d'eau chaude (On tiendra compte des valeurs importantes, ainsi que des contraintes externes à l'ouvrage)						
Catégorie	Usage	Demande d'eau chaude en litres, à 60 °C / jour (dm ³ / d) 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
		forte occupation	S	20	30	40
	Cafés-restaurants	occupation faible	S	10	15	25
		occupation moyenne	S	20	25	35
	Restaurants	forte occupation	S	25	30	45
			équipement: (sans cuisines ni buanderies)			
	Auberges	simple	L	30	40	50
		Hôtels	L	40	50	70
«Aparthôtels»		2 ^e classe	L	60	80	100
		1 ^{re} classe 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
Hopitaux	Cliniques	équipement médico-techniques:				
		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
		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
			D / P	35	40	50
		dans les installations sportives	D / P	45	50	60
			D / P	50	60	70
		Bains	dans les usines où les travaux sont: peu salissants très salissants	D / P	45	50	60
	D / P			50	60	70
baignoires normales	B / P			120	150	180
	B / P			150	180	200
grandes baignoires	B / P	250	300	400		
	baignoires hydrothérapie	B / P	400	500	600	
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 Unités relatives à des choses

P = personnes

S = siège

L = lit

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 au calcul du volume et de la puissance des chauffe-eau.

 Manuel	5	Feuille No. 1.4.6
---	---	-----------------------------

Matériaux

Tuyaux en cuivre DIN 1754 / 1786, SN 211 641

DN D _e [mm]	D _i [mm]	s [mm]	Contenu V [$\frac{dm^3}{m^1}$]	Masse [$\frac{kg}{m^1}$]
6	4,4	0,8	0,015	0,116
8	6,4	0,8	0,032	0,162
10	8,4	0,8	0,055	0,205
12	10,0	1,0	0,079	0,308
15	13,0	1,0	0,133	0,392
18	16,0	1,0	0,201	0,475
22	20,0 (19,6)	1,0 (1,2)	0,314 (0,302)	0,587 (0,700)
28	25,0 (25,6)	1,5 (1,2)	0,491 (0,515)	1,11 (0,901)
35	32,0	1,5	0,804	1,40
42	39,0	1,5	1,195	1,71
54	50,0	2,0	1,964	2,91
76,1	72,1	2,0	4,072	4,14
88,9	84,9	2,0	5,675	4,86
108	103,0	2,5	8,332	7,37

Masse volumique ρ : $8900 \frac{kg}{m^3}$

Dilatation α : $0,0166 \frac{mm}{m \cdot K}$

Conductibilité thermique λ : $372 \frac{W}{m \cdot K}$

Rugosité k : 0,0014 mm

Longueur hors tout :

- en barres de 5,0 ou 6,0 m
- en rouleaux de 50 m (DN 6-15)
- en rouleaux de 25 m (DN 18+22)

Brasure tendre: [16]

- Sn Cu 3 étain 97% / cuivre 3%
- Sn Ag 5 étain 95% / argent max. 5%
- Sn Sb 5 étain 95% / antimoine 5%

Brasure forte: [16]

- * - Ag 45 Sn argent 45% / étain
- ** - Ag 30 Cd argent 30% / cadmium
- ** - Ag 40 Cd argent 40% / cadmium
- *** - Ag 2 P argent 2% / phosphore

- * pour eau potable
- ** pour gaz techniques et médicaux
- *** assemblage en aucun cas acier et cuivre

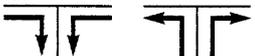
Pression de service admissible pour les joints brasés

selon DIN 2856		Brasure tendre Sn Cu 3 Sn Ag 5 Sn Sb 5		Brasure forte Ag 45 Sn Ag 30 Cd Ag 40 Cd Ag 2 P	
		PN [bar]	PN [bar]	PN [bar]	PN [bar]
Tuyau cuivre D _e [mm]	Température de service [°C]	30	40		40
		65	25		25
		110	16		16
6 + 28		30	25		25
		65	16		16
		110	10		10
35 + 54		30	20		16
		65	16		16
		110	10		10
76 + 108		30	20		16
		65	16		16
		110	10		10

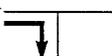
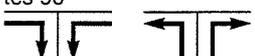
Tenir compte de W / TPW 136:
Directive 136, station d'essais eaux de la SSIGE

	Manuel	5		Feuille No. 1.4.2																																																																																																																																																																																																
<p>Matériaux</p> <p>Tuyaux acier DIN 2440/2448, Zingage DIN 2444</p>																																																																																																																																																																																																				
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">Tuyaux filetés série moyenne DIN 2440</td> <td colspan="7" style="text-align: center;">Tuyaux acier étirés DIN 2448</td> </tr> <tr> <td colspan="5" style="text-align: center;">Diamètre en pouce</td> <td colspan="7" style="text-align: center;">Diamètre nominal DN</td> </tr> <tr> <th>Masse kg m⁻¹</th> <th>Contenu dm³ m⁻¹</th> <th>D_i [mm]</th> <th>D_e [mm]</th> <th>Diamètre en pouce</th> <th>Diamètre DN</th> <th>D_e [mm]</th> <th>D_i [mm]</th> <th>Contenu dm³ m⁻¹</th> <th>Masse kg m⁻¹</th> <th colspan="2" style="text-align: center;">PN 16 Brides à souder</th> </tr> <tr> <td></td> <td style="text-align: center;">Ø [mm]</td> <td style="text-align: center;">Boulons</td> </tr> <tr> <td>0,85</td> <td>0,123</td> <td>12,5</td> <td>17,2</td> <td>3/8"</td> <td>10</td> <td>17,2</td> <td>13,6</td> <td>0,145</td> <td>0,69</td> <td>90</td> <td>4×M12×45</td> </tr> <tr> <td>1,22</td> <td>0,201</td> <td>16,0</td> <td>21,3</td> <td>1/2"</td> <td>15</td> <td>21,3</td> <td>17,3</td> <td>0,235</td> <td>0,96</td> <td>95</td> <td>4×M12×45</td> </tr> <tr> <td>1,58</td> <td>0,366</td> <td>21,6</td> <td>26,9</td> <td>3/4"</td> <td>20</td> <td>26,9</td> <td>22,3</td> <td>0,391</td> <td>1,41</td> <td>105</td> <td>4×M12×50</td> </tr> <tr> <td>2,44</td> <td>0,581</td> <td>27,2</td> <td>33,7</td> <td>1"</td> <td>25</td> <td>33,7</td> <td>28,5</td> <td>0,665</td> <td>2,01</td> <td>115</td> <td>4×M12×50</td> </tr> <tr> <td>3,14</td> <td>1,01</td> <td>35,9</td> <td>42,4</td> <td>1 1/4"</td> <td>32</td> <td>42,4</td> <td>37,8</td> <td>1,12</td> <td>2,57</td> <td>140</td> <td>4×M16×50</td> </tr> <tr> <td>3,61</td> <td>1,37</td> <td>41,8</td> <td>48,3</td> <td>1 1/2"</td> <td>40</td> <td>48,3</td> <td>43,1</td> <td>1,50</td> <td>2,91</td> <td>150</td> <td>4×M16×50</td> </tr> <tr> <td>5,10</td> <td>2,21</td> <td>53,0</td> <td>60,3</td> <td>2"</td> <td>50</td> <td>60,3</td> <td>54,5</td> <td>2,33</td> <td>4,14</td> <td>165</td> <td>4×M16×55</td> </tr> <tr> <td>6,51</td> <td>3,72</td> <td>68,8</td> <td>76,1</td> <td>2 1/2"</td> <td>65</td> <td>76,1</td> <td>70,3</td> <td>3,88</td> <td>5,28</td> <td>185</td> <td>4×M16×55</td> </tr> <tr> <td>8,47</td> <td>5,13</td> <td>80,8</td> <td>88,9</td> <td>3"</td> <td>80</td> <td>88,9</td> <td>82,5</td> <td>5,35</td> <td>6,81</td> <td>200</td> <td>8×M16×60</td> </tr> <tr> <td>12,1</td> <td>8,71</td> <td>105,3</td> <td>114,3</td> <td>4"</td> <td>100</td> <td>114,3</td> <td>107,1</td> <td>9,01</td> <td>9,90</td> <td>220</td> <td>8×M16×60</td> </tr> <tr> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>5"</td> <td>125</td> <td>139,7</td> <td>131,7</td> <td>13,6</td> <td>13,5</td> <td>250</td> <td>8×M16×60</td> </tr> <tr> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>-</td> <td>150</td> <td>168,3</td> <td>159,3</td> <td>19,3</td> <td>18,1</td> <td>285</td> <td>8×M20×65</td> </tr> </table>					Tuyaux filetés série moyenne DIN 2440					Tuyaux acier étirés DIN 2448							Diamètre en pouce					Diamètre nominal DN							Masse kg m ⁻¹	Contenu dm ³ m ⁻¹	D _i [mm]	D _e [mm]	Diamètre en pouce	Diamètre DN	D _e [mm]	D _i [mm]	Contenu dm ³ m ⁻¹	Masse kg m ⁻¹	PN 16 Brides à souder												Ø [mm]	Boulons	0,85	0,123	12,5	17,2	3/8"	10	17,2	13,6	0,145	0,69	90	4×M12×45	1,22	0,201	16,0	21,3	1/2"	15	21,3	17,3	0,235	0,96	95	4×M12×45	1,58	0,366	21,6	26,9	3/4"	20	26,9	22,3	0,391	1,41	105	4×M12×50	2,44	0,581	27,2	33,7	1"	25	33,7	28,5	0,665	2,01	115	4×M12×50	3,14	1,01	35,9	42,4	1 1/4"	32	42,4	37,8	1,12	2,57	140	4×M16×50	3,61	1,37	41,8	48,3	1 1/2"	40	48,3	43,1	1,50	2,91	150	4×M16×50	5,10	2,21	53,0	60,3	2"	50	60,3	54,5	2,33	4,14	165	4×M16×55	6,51	3,72	68,8	76,1	2 1/2"	65	76,1	70,3	3,88	5,28	185	4×M16×55	8,47	5,13	80,8	88,9	3"	80	88,9	82,5	5,35	6,81	200	8×M16×60	12,1	8,71	105,3	114,3	4"	100	114,3	107,1	9,01	9,90	220	8×M16×60	-	-	-	-	5"	125	139,7	131,7	13,6	13,5	250	8×M16×60	-	-	-	-	-	150	168,3	159,3	19,3	18,1	285	8×M20×65
Tuyaux filetés série moyenne DIN 2440					Tuyaux acier étirés DIN 2448																																																																																																																																																																																															
Diamètre en pouce					Diamètre nominal DN																																																																																																																																																																																															
Masse kg m ⁻¹	Contenu dm ³ m ⁻¹	D _i [mm]	D _e [mm]	Diamètre en pouce	Diamètre DN	D _e [mm]	D _i [mm]	Contenu dm ³ m ⁻¹	Masse kg m ⁻¹	PN 16 Brides à souder																																																																																																																																																																																										
										Ø [mm]	Boulons																																																																																																																																																																																									
0,85	0,123	12,5	17,2	3/8"	10	17,2	13,6	0,145	0,69	90	4×M12×45																																																																																																																																																																																									
1,22	0,201	16,0	21,3	1/2"	15	21,3	17,3	0,235	0,96	95	4×M12×45																																																																																																																																																																																									
1,58	0,366	21,6	26,9	3/4"	20	26,9	22,3	0,391	1,41	105	4×M12×50																																																																																																																																																																																									
2,44	0,581	27,2	33,7	1"	25	33,7	28,5	0,665	2,01	115	4×M12×50																																																																																																																																																																																									
3,14	1,01	35,9	42,4	1 1/4"	32	42,4	37,8	1,12	2,57	140	4×M16×50																																																																																																																																																																																									
3,61	1,37	41,8	48,3	1 1/2"	40	48,3	43,1	1,50	2,91	150	4×M16×50																																																																																																																																																																																									
5,10	2,21	53,0	60,3	2"	50	60,3	54,5	2,33	4,14	165	4×M16×55																																																																																																																																																																																									
6,51	3,72	68,8	76,1	2 1/2"	65	76,1	70,3	3,88	5,28	185	4×M16×55																																																																																																																																																																																									
8,47	5,13	80,8	88,9	3"	80	88,9	82,5	5,35	6,81	200	8×M16×60																																																																																																																																																																																									
12,1	8,71	105,3	114,3	4"	100	114,3	107,1	9,01	9,90	220	8×M16×60																																																																																																																																																																																									
-	-	-	-	5"	125	139,7	131,7	13,6	13,5	250	8×M16×60																																																																																																																																																																																									
-	-	-	-	-	150	168,3	159,3	19,3	18,1	285	8×M20×65																																																																																																																																																																																									
<table style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 30%;">Masse volumique ρ :</td> <td style="width: 30%;">7850 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$</td> <td style="width: 40%;"></td> </tr> <tr> <td>Dilatation α :</td> <td>0,0118 $\frac{\text{mm}}{\text{m} \cdot \text{K}}$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Conductibilité thermique λ :</td> <td>37 – 52 $\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Rugosité k :</td> <td>0,15 mm</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Longueur hors tout :</td> <td colspan="2">en barres de 6,0 m</td> </tr> </table>					Masse volumique ρ :	7850 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$		Dilatation α :	0,0118 $\frac{\text{mm}}{\text{m} \cdot \text{K}}$		Conductibilité thermique λ :	37 – 52 $\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$		Rugosité k :	0,15 mm		Longueur hors tout :	en barres de 6,0 m																																																																																																																																																																																		
Masse volumique ρ :	7850 $\frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$																																																																																																																																																																																																			
Dilatation α :	0,0118 $\frac{\text{mm}}{\text{m} \cdot \text{K}}$																																																																																																																																																																																																			
Conductibilité thermique λ :	37 – 52 $\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$																																																																																																																																																																																																			
Rugosité k :	0,15 mm																																																																																																																																																																																																			
Longueur hors tout :	en barres de 6,0 m																																																																																																																																																																																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th colspan="4" style="text-align: center;">Pression de service admissible pour les raccords taraudés</th> </tr> <tr> <th rowspan="2" style="text-align: center;">Diamètre en pouce</th> <th rowspan="2" style="text-align: center;">Pression nominale PN [bar]</th> <th colspan="2" style="text-align: center;">Pression de service</th> </tr> <tr> <th style="text-align: center;">jusqu'à 120 °C [bar]</th> <th style="text-align: center;">jusqu'à 300 °C [bar]</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">3/8" – 3/4"</td> <td style="text-align: center;">25</td> <td style="text-align: center;">25</td> <td style="text-align: center;">20</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">1" – 4"</td> <td style="text-align: center;">16</td> <td style="text-align: center;">16</td> <td style="text-align: center;">13</td> </tr> </table>					Pression de service admissible pour les raccords taraudés				Diamètre en pouce	Pression nominale PN [bar]	Pression de service		jusqu'à 120 °C [bar]	jusqu'à 300 °C [bar]	3/8" – 3/4"	25	25	20	1" – 4"	16	16	13																																																																																																																																																																														
Pression de service admissible pour les raccords taraudés																																																																																																																																																																																																				
Diamètre en pouce	Pression nominale PN [bar]	Pression de service																																																																																																																																																																																																		
		jusqu'à 120 °C [bar]	jusqu'à 300 °C [bar]																																																																																																																																																																																																	
3/8" – 3/4"	25	25	20																																																																																																																																																																																																	
1" – 4"	16	16	13																																																																																																																																																																																																	
5. 93 © USTSC																																																																																																																																																																																																				

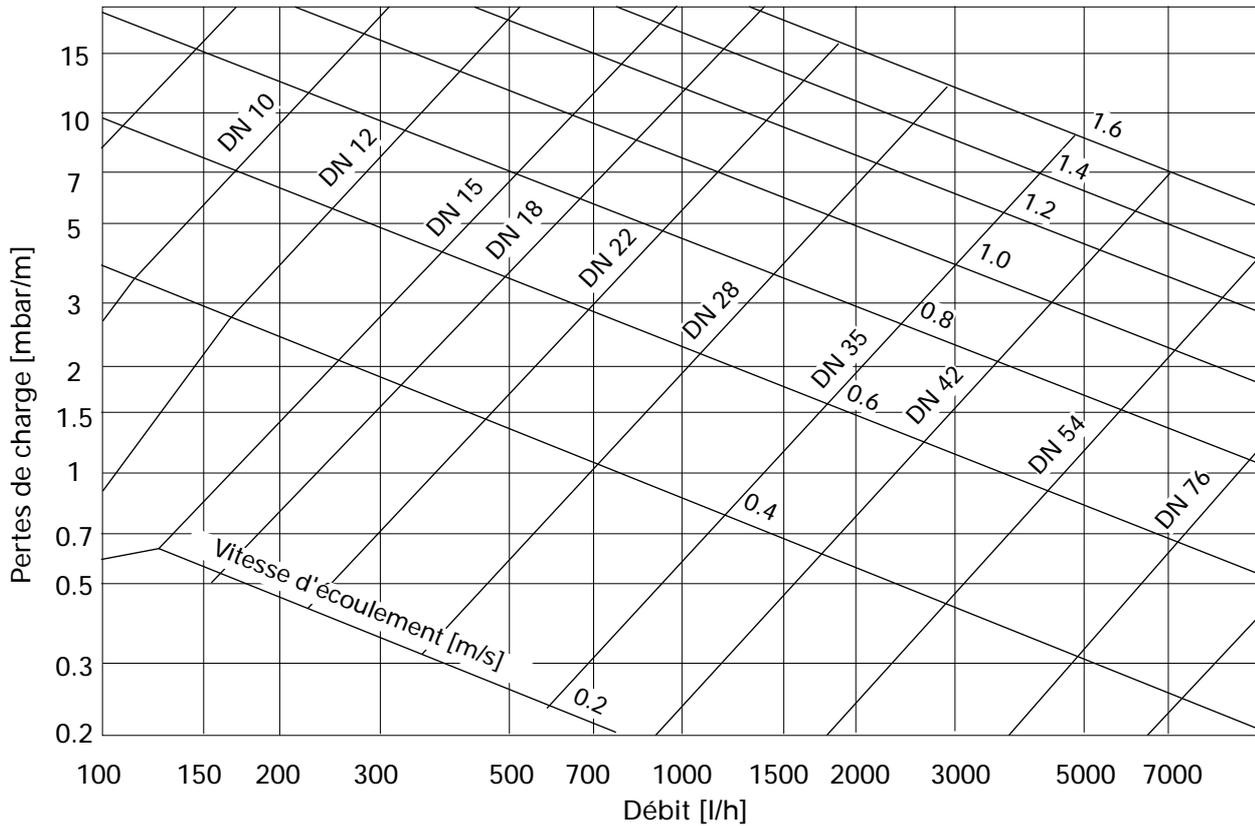
Détermination du diamètre des conduites
Résistances particulières des raccords filetés, raccords brasés et de la robinetterie (longueur de conduite équivalente)
Longueurs équivalentes de conduite des raccords filetés et de la robinetterie

Nature du raccord et de la robinetterie	Diamètres						
	1/2"	3/4"	1"	1 1/4"	1 1/2"	2"	2 1/2"
	longueur de conduite équivalente en m						
Coudes jusqu'à 90°	0,3	0,4	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9
Equerres jusqu'à 90°	0,3	0,4	0,6	0,7	0,8	1,1	1,4
tés 90° 	0,5	0,7	0,9	1,2	1,4	1,7	2,4
tés 90° 	0,4	0,5	0,6	0,9	1,0	1,2	1,7
tés 90° 	1,3	1,8	2,5	3,4	4,1	5,4	7,5
Robinet à siège parallèle URS	3,5	6,0	8,0	10,9	13,0	16,0	23,0
Robinet à siège oblique URS	1,5	1,5	1,5	2,0	2,5	3,5	4,5
Compte tenu des petites valeurs des longueurs de conduites, les passages directs dans les tés de 90°, manchons, réductions, raccords à visser et brides ne sont pas pris en considération							

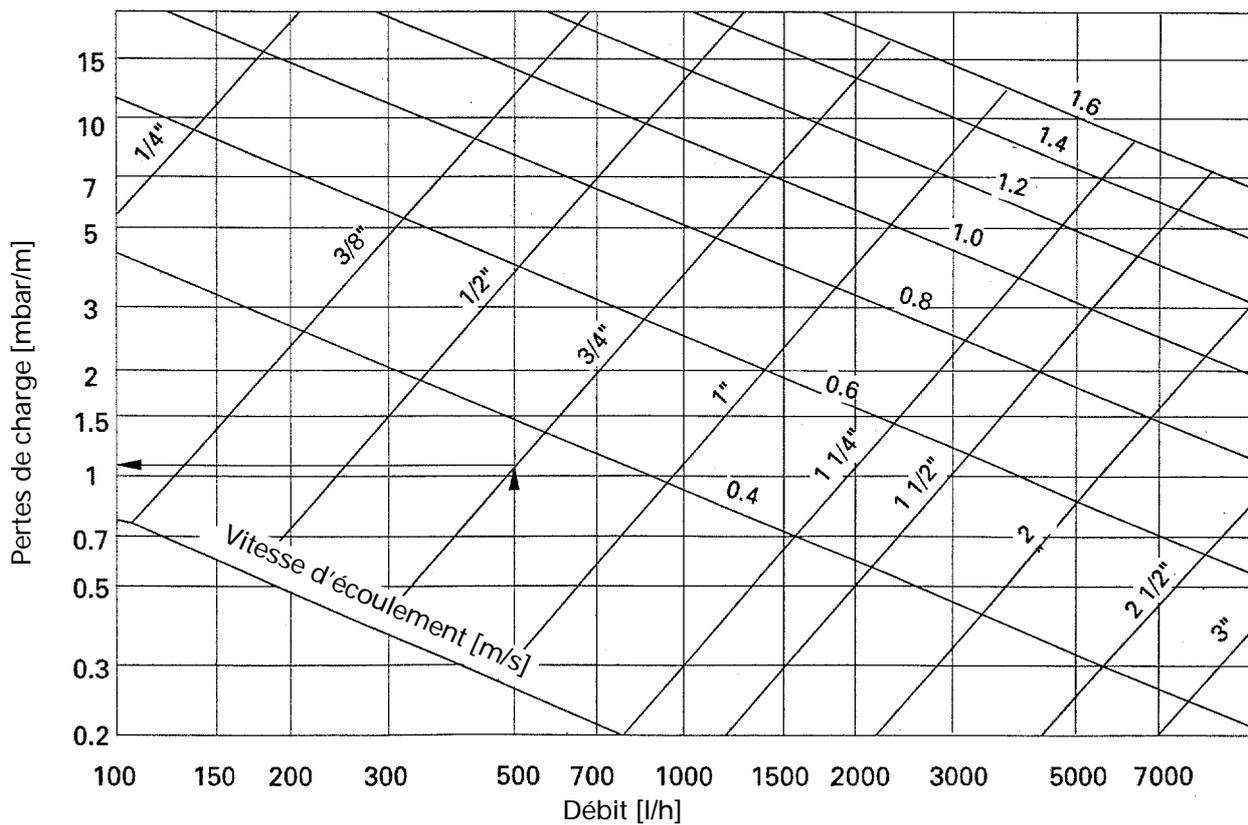
Longueurs équivalentes de conduite des raccords cuivre brasés et de la robinetterie

Nature du raccord et de la robinetterie	Diamètre nominal = diamètre extérieur en mm								
	12	15	18	22	28	35	42	54	76
	longueur de conduite équivalente en m								
Coudes jusqu'à 90°	0,2	0,2	0,3	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5	0,8
Equerres jusqu'à 90°	0,4	0,5	0,5	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,9
tés 90° 	0,5	0,7	0,8	1,0	1,1	1,6	1,9	2,2	3,7
tés 90° 	0,5	0,6	0,7	0,9	1,0	1,4	1,7	2,0	3,3
tés 90° 	1,3	1,8	2,2	2,7	3,1	4,5	5,5	6,7	11,1
Robinet à siège parallèle URS	1,5	2,0	5,0	6,0	8,0	–	–	–	–
Robinet à siège oblique URS	–	1,0	1,5	1,5	1,5	2,0	3,0	4,0	–
Compte tenu des petites valeurs des longueurs de conduites, les passages directs dans les tés de 90°, manchons, réductions, raccords à visser et brides ne sont pas pris en considération									

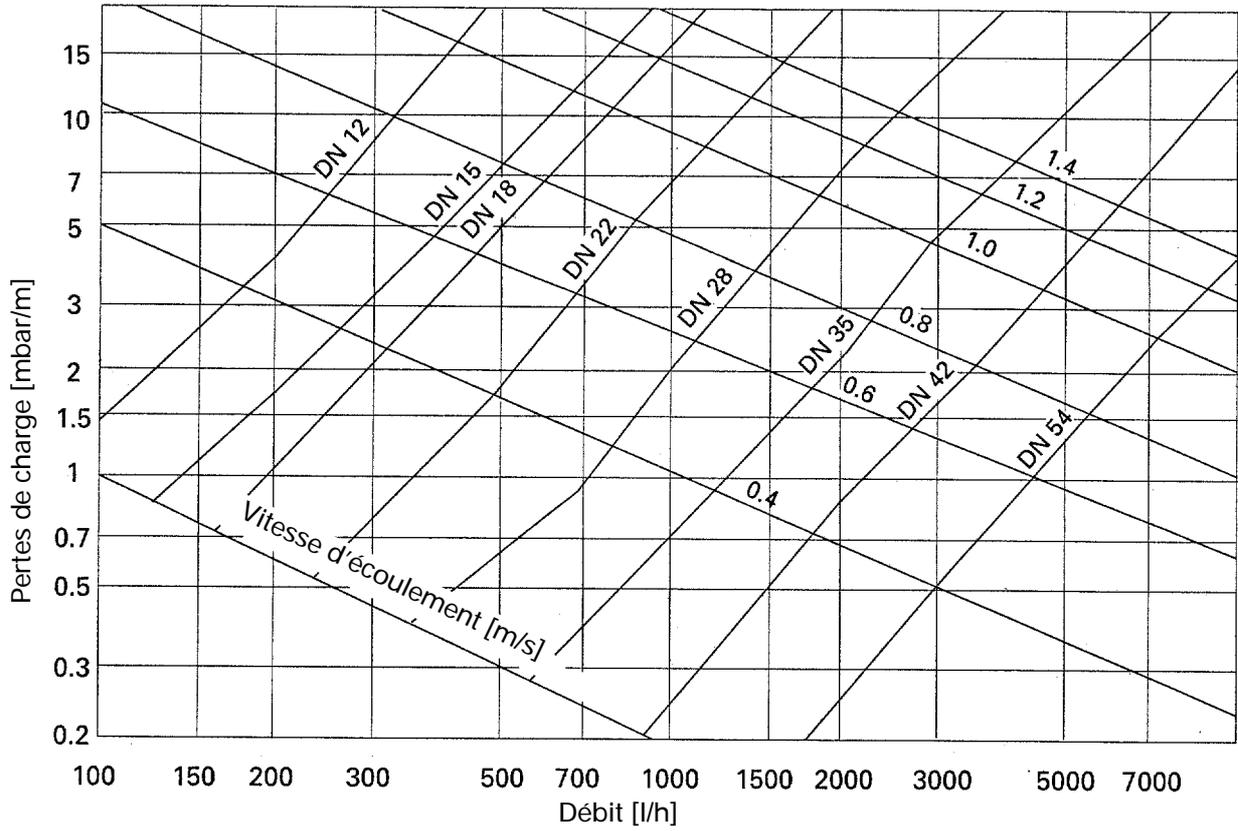
Pertes de charge dans les tubes en cuivre: 65% d'eau, 35% glycol, 50°C



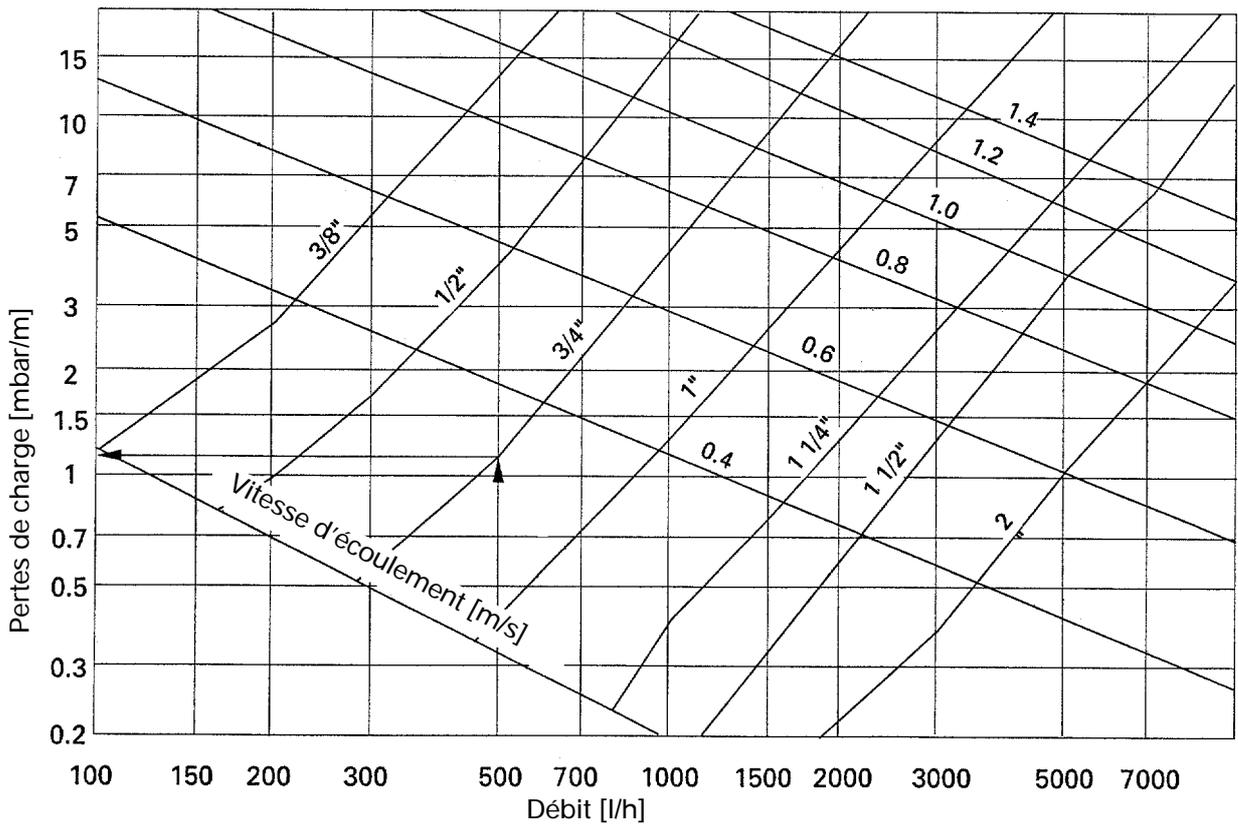
Pertes de charge dans les tubes en acier: 65% d'eau, 35% glycol, 50°C



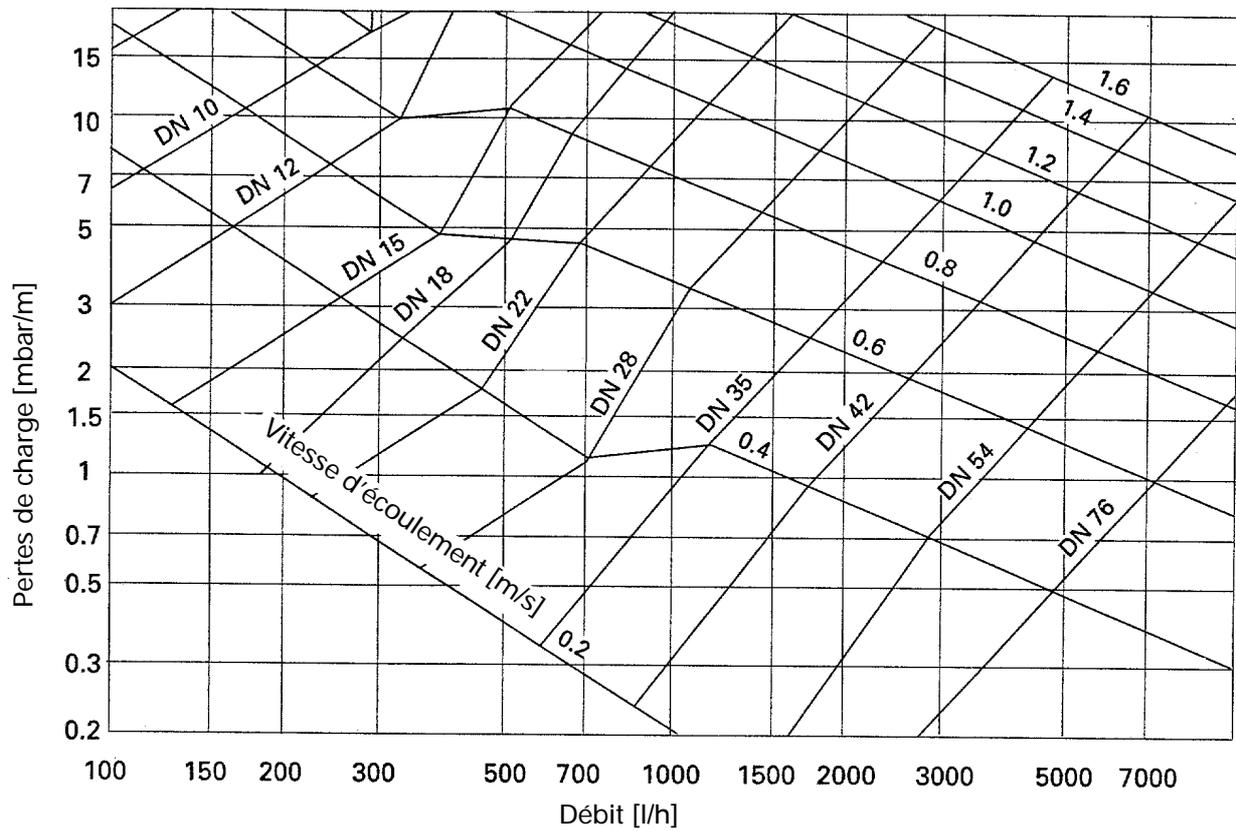
Pertes de charge dans les tubes en cuivre: 50% d'eau, 50% glycol, 50°C



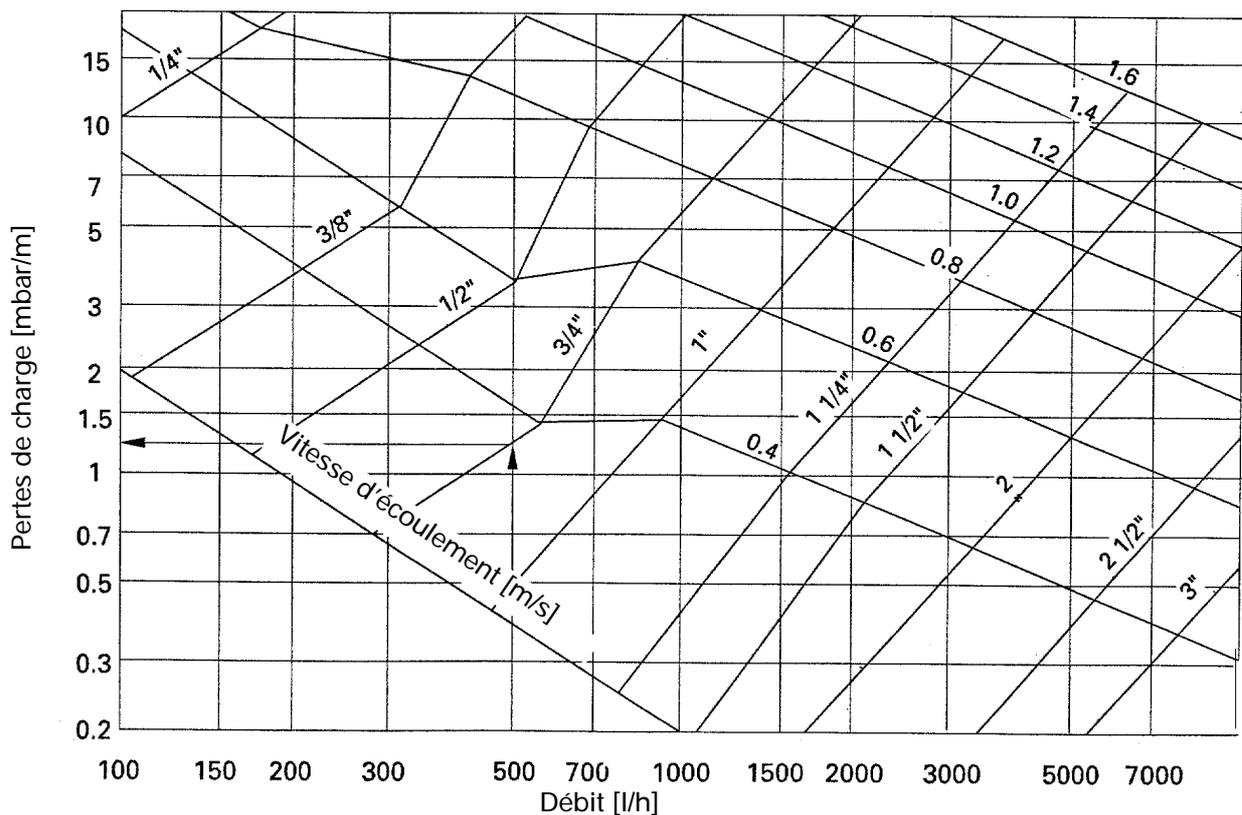
Pertes de charge dans les tubes en acier 50% d'eau, 50% glycol, 50°C



Pertes de charge dans les tubes en cuivre: 10% d'eau, 90% glycol, 50°C



Pertes de charge dans les tubes en acier 10% d'eau, 90% glycol, 50°C

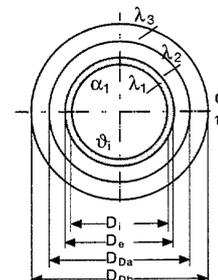


Déperdition de chaleur
Déperdition de chaleur des tuyaux cuivre isolés $\left[\frac{W}{m^1 \cdot K} \right]$

Ne tient pas compte d'éventuels ponts thermiques provoqués par les fixations des tuyaux et des fissures de l'isolation.

épaisseur 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	0.3933	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	0.5393	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	0.1560	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	0.0690	0.0756	0.0818	0.0896	0.1009	0.1134	0.1254	0.1455	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	0.1974	0.2287	0.2844	0.3160	0.3625
	0.050	0.1353	0.1480	0.1600	0.1751	0.1967	0.2208	0.2440	0.2825	0.3510	0.3898	0.4469
	0.060	0.1611	0.1761	0.1903	0.2082	0.2338	0.2622	0.2896	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	0.2561	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

 épaisseur d'isolation recommandée pour système avec circulation





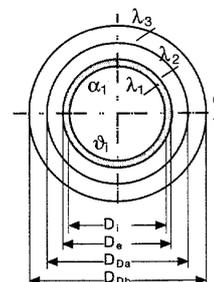
Déperdition de chaleur

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	D _e	D _i						
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	0.1895	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	0.1054	0.1180	0.1326	0.1505	0.1623	0.1858	0.2161	0.2402	0.2873
	0.040	0.1393	0.1558	0.1749	0.1984	0.2139	0.2447	0.2844	0.3160	0.3777
	0.050	0.1725	0.1928	0.2163	0.2452	0.2643	0.3022	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	0.1780	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	0.1888	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	0.2373	0.2592	0.3014
	0.060					0.2238	0.2501	0.2832	0.3092	0.3594

■ épaisseur d'isolation recommandée pour système avec circulation



Capacité utile des vases d'expansion (selon méthode calcul détaillée pages D11-D12/E11-E12/F11-F12)

3.10.3 Méthode A			Soupape 3 bar								Pression finale dans le vase 2.3 bar *							
Δh m	Pi bar	Pr bar	Type de vase et capacité utile en litres															
			12	18	25	35	50	80	110	140	200	300	400	500	600	750	900	
1	0.4	0.6	5.4	8.7	11.7	16.6	21.2	35.3	49.6	67.1	100.1	138.2	175.9	225.4	270.8	328.5	394.4	
2	0.5	0.7	5.1	8.2	11.1	15.8	20.1	33.5	47.1	63.6	95.0	131.2	167.0	213.9	257.0	311.8	374.3	
3	0.6	0.8	4.8	7.8	10.5	14.9	19.0	31.6	44.4	60.1	89.7	123.9	157.7	202.0	242.7	294.5	353.5	
4	0.7	0.9	4.6	7.3	9.9	14.0	17.8	29.7	41.8	56.5	84.3	116.4	148.2	189.8	228.0	276.6	332.1	
5	0.8	1.0	4.3	6.8	9.2	13.1	16.7	27.8	39.0	52.7	78.7	108.7	138.4	177.3	213.0	258.4	310.2	
6	0.9	1.1	3.9	6.3	8.6	12.1	15.5	25.8	36.2	48.9	73.1	100.9	128.4	164.5	197.6	239.8	287.9	
7	1.0	1.2	3.6	5.8	7.9	11.2	14.2	23.7	33.3	45.1	67.3	92.9	118.3	151.5	182.0	220.9	265.1	
8	1.1	1.3	3.3	5.3	7.2	10.2	13.0	21.7	30.4	41.2	61.4	84.8	108.0	138.3	166.2	201.6	242.1	
9	1.2	1.4	3.0	4.8	6.5	9.2	11.8	19.6	27.5	37.2	55.5	76.7	97.6	125.0	150.2	182.2	218.7	
10	1.3	1.5	2.7	4.3	5.8	8.2	10.5	17.5	24.5	33.2	49.5	68.4	87.1	111.5	134.0	162.5	195.1	
11	1.4	1.6	2.3	3.8	5.1	7.2	9.2	15.3	21.5	29.1	43.5	60.0	76.4	97.9	117.6	142.7	171.3	
12	1.5	1.7	2.0	3.2	4.4	6.2	7.9	13.2	18.5	25.0	37.4	51.6	65.7	84.2	101.1	122.7	147.3	
13	1.6	1.8	1.7	2.7	3.7	5.2	6.6	11.0	15.5	20.9	31.2	43.1	54.9	70.4	84.5	102.5	123.1	
14	1.7	1.9	1.4	2.2	2.9	4.2	5.3	8.8	12.4	16.8	25.1	34.6	44.1	56.4	67.8	82.2	98.7	
15	1.8	2.0	1.0	1.6	2.2	3.1	4.0	6.6	9.3	12.6	18.8	26.0	33.1	42.4	51.0	61.8	74.2	
16	1.9	2.1	0.7	1.1	1.5	2.1	2.7	4.4	6.2	8.4	12.6	17.4	22.1	28.3	34.1	41.3	49.6	
17	2.0	2.2	0.3	0.5	0.7	1.0	1.3	2.2	3.1	4.2	6.3	8.7	11.1	14.2	17.1	20.7	24.9	

3.10.4 Méthode B			Soupape 3 bar								Pression finale dans le vase 2.9 bar *							
Δh m	Pi bar	Pr bar	Type de vase et capacité utile en litres															
			12	18	25	35	50	80	110	140	200	300	400	500	600	750	900	
1	0.4	0.6	6.2	9.9	13.4	19.0	24.3	40.4	56.8	76.8	114.6	158.2	201.4	258.0	310.0	376.0	451.5	
2	0.5	0.7	6.0	9.6	12.9	18.4	23.4	39.0	54.8	74.0	110.5	152.6	194.3	248.9	299.0	362.7	435.5	
3	0.6	0.8	5.7	9.2	12.4	17.7	22.5	37.5	52.6	71.2	106.3	146.8	186.8	239.3	287.5	348.7	418.8	
4	0.7	0.9	5.5	8.8	11.9	16.9	21.6	35.9	50.5	68.3	101.9	140.7	179.1	229.4	275.6	334.3	401.5	
5	0.8	1.0	5.3	8.4	11.4	16.2	20.6	34.3	48.2	65.2	97.4	134.4	171.1	219.2	263.4	319.5	383.6	
6	0.9	1.1	5.0	8.0	10.9	15.4	19.6	32.7	45.9	62.1	92.7	128.0	163.0	208.8	250.9	304.3	365.4	
7	1.0	1.2	4.8	7.6	10.3	14.6	18.6	31.0	43.6	58.9	88.0	121.5	154.7	198.1	238.1	288.7	346.7	
8	1.1	1.3	4.5	7.2	9.7	13.8	17.6	29.3	41.2	55.7	83.2	114.9	146.2	187.3	225.0	272.9	327.8	
9	1.2	1.4	4.2	6.8	9.2	13.0	16.6	27.6	38.8	52.4	78.3	108.1	137.6	176.3	211.8	256.9	308.5	
10	1.3	1.5	4.0	6.3	8.6	12.2	15.5	25.9	36.3	49.1	73.3	101.3	128.9	165.1	198.4	240.6	289.0	
11	1.4	1.6	3.7	5.9	8.0	11.4	14.5	24.1	33.8	45.8	68.3	94.3	120.1	153.9	184.8	224.2	269.2	
12	1.5	1.7	3.4	5.5	7.4	10.5	13.4	22.3	31.3	42.4	63.3	87.4	111.2	142.5	171.2	207.6	249.3	
13	1.6	1.8	3.1	5.0	6.8	9.7	12.3	20.5	28.8	39.0	58.2	80.3	102.2	131.0	157.3	190.8	229.2	
14	1.7	1.9	2.9	4.6	6.2	8.8	11.2	18.7	26.3	35.5	53.0	73.2	93.2	119.4	143.4	173.9	208.9	
15	1.8	2.0	2.6	4.1	5.6	7.9	10.1	16.9	23.7	32.0	47.8	66.0	84.1	107.7	129.4	156.9	188.5	
16	1.9	2.1	2.3	3.7	5.0	7.1	9.0	15.0	21.1	28.5	42.6	58.8	74.9	96.0	115.3	139.8	167.9	
17	2.0	2.2	2.0	3.2	4.4	6.2	7.9	13.2	18.5	25.0	37.4	51.6	65.7	84.1	101.1	122.6	147.2	

3.10.5 Méthode B ou C			Soupape 4 bar								Pression finale dans le vase 3.9 bar *							
Δh m	Pi bar	Pr bar	Type de vase et capacité utile en litres															
			12	18	25	35	50	80	110	140	200	300	400	500	600	750	900	
1	0.4	0.6	7.1	11.3	15.3	21.7	27.7	46.1	64.8	87.7	130.9	180.7	230.0	294.7	354.0	429.4	515.6	
2	0.5	0.7	6.9	11.1	15.0	21.3	27.1	45.1	63.4	85.7	128.0	176.7	224.9	288.1	346.2	419.9	504.2	
3	0.6	0.8	6.7	10.8	14.6	20.8	26.4	44.0	61.9	83.7	124.9	172.4	219.5	281.2	337.8	409.7	492.1	
4	0.7	0.9	6.6	10.5	14.2	20.2	25.7	42.9	60.3	81.5	121.6	168.0	213.8	273.9	329.1	399.1	479.3	
5	0.8	1.0	6.4	10.2	13.8	19.7	25.0	41.7	58.6	79.2	118.3	163.3	207.9	266.3	320.0	388.1	466.1	
6	0.9	1.1	6.2	9.9	13.4	19.1	24.3	40.5	56.9	76.9	114.8	158.5	201.8	258.5	310.6	376.7	452.4	
7	1.0	1.2	6.0	9.6	13.0	18.5	23.5	39.2	55.1	74.5	111.2	153.6	195.5	250.5	300.9	365.0	438.3	
8	1.1	1.3	5.8	9.3	12.6	17.9	22.8	37.9	53.3	72.1	107.6	148.6	189.1	242.3	291.0	353.0	423.9	
9	1.2	1.4	5.6	9.0	12.2	17.3	22.0	36.6	51.4	69.6	103.9	143.4	182.6	233.9	281.0	340.8	409.2	
10	1.3	1.5	5.4	8.7	11.7	16.6	21.2	35.3	49.6	67.0	100.1	138.2	175.9	225.3	270.7	328.3	394.3	
11	1.4	1.6	5.2	8.3	11.3	16.0	20.4	33.9	47.7	64.5	96.2	132.9	169.1	216.7	260.3	315.7	379.1	
12	1.5	1.7	5.0	8.0	10.8	15.3	19.5	32.6	45.7	61.8	92.3	127.5	162.3	207.9	249.7	302.9	363.7	
13	1.6	1.8	4.8	7.6	10.3	14.7	18.7	31.2	43.8	59.2	88.4	122.0	155.3	199.0	239.1	290.0	348.2	
14	1.7	1.9	4.6	7.3	9.9	14.0	17.9	29.8	41.8	56.5	84.4	116.5	148.3	190.0	228.3	276.9	332.5	
15	1.8	2.0	4.3	6.9	9.4	13.4	17.0	28.3	39.8	53.8	80.4	111.0	141.3	181.0	217.4	263.7	316.7	
16	1.9	2.1	4.1	6.6	8.9	12.7	16.2	26.9	37.8	51.1	76.3	105.4	134.1	171.8	206.4	250.4	300.7	
17	2.0	2.2	3.9	6.2	8.5	12.0	15.3	25.5	35.8	48.4	72.2	99.7	127.0	162.6	195.4	237.0	284.6	
18	2.1	2.3	3.7	5.9	8.0	11.3	14.4	24.0	33.7	45.6	68.1	94.1	119.7	153.4	184.3	223.5	268.4	
19	2.2	2.4	3.5	5.5	7.5	10.6	13.5	22.6	31.7	42.9	64.0	88.3	112.5	144.1	173.1	209.9	252.1	

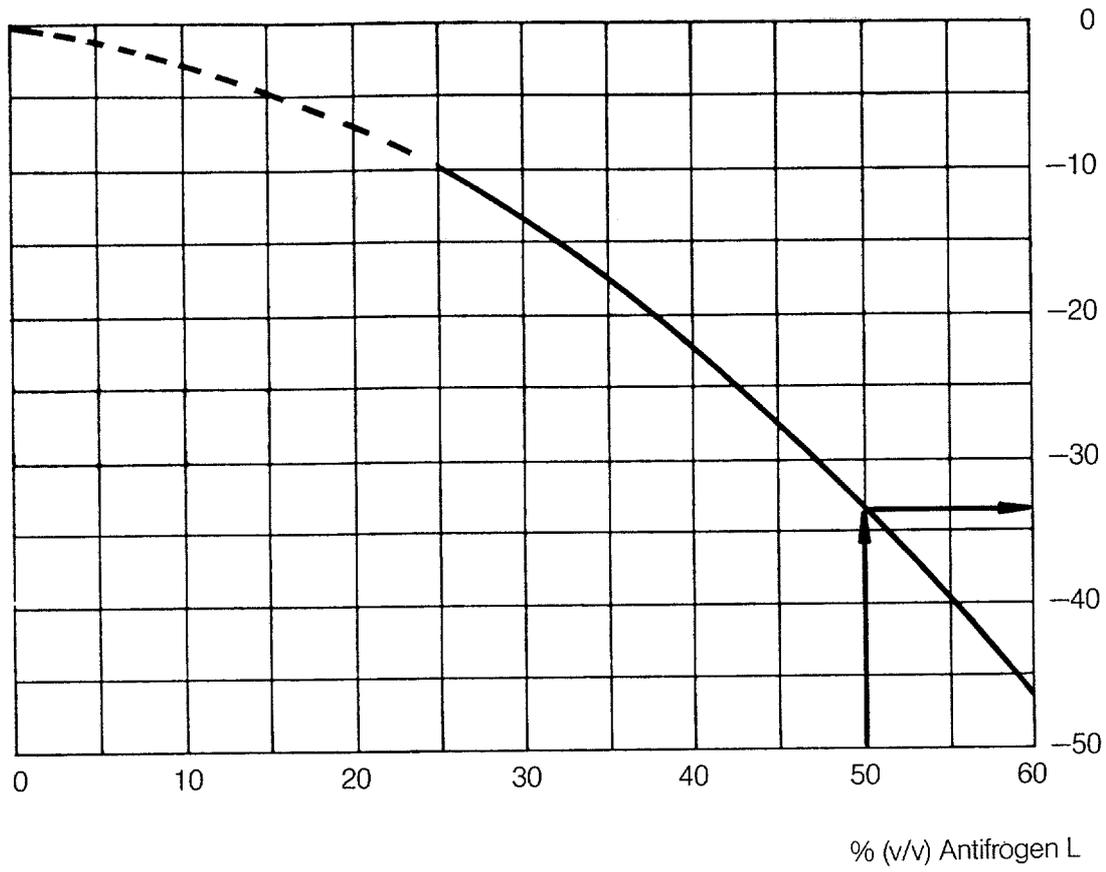
Δh = Différence de hauteur entre le point le plus haut du circuit et le vase d'expansion (m)

Pi = Pression de gonflage du vase d'expansion (bar)

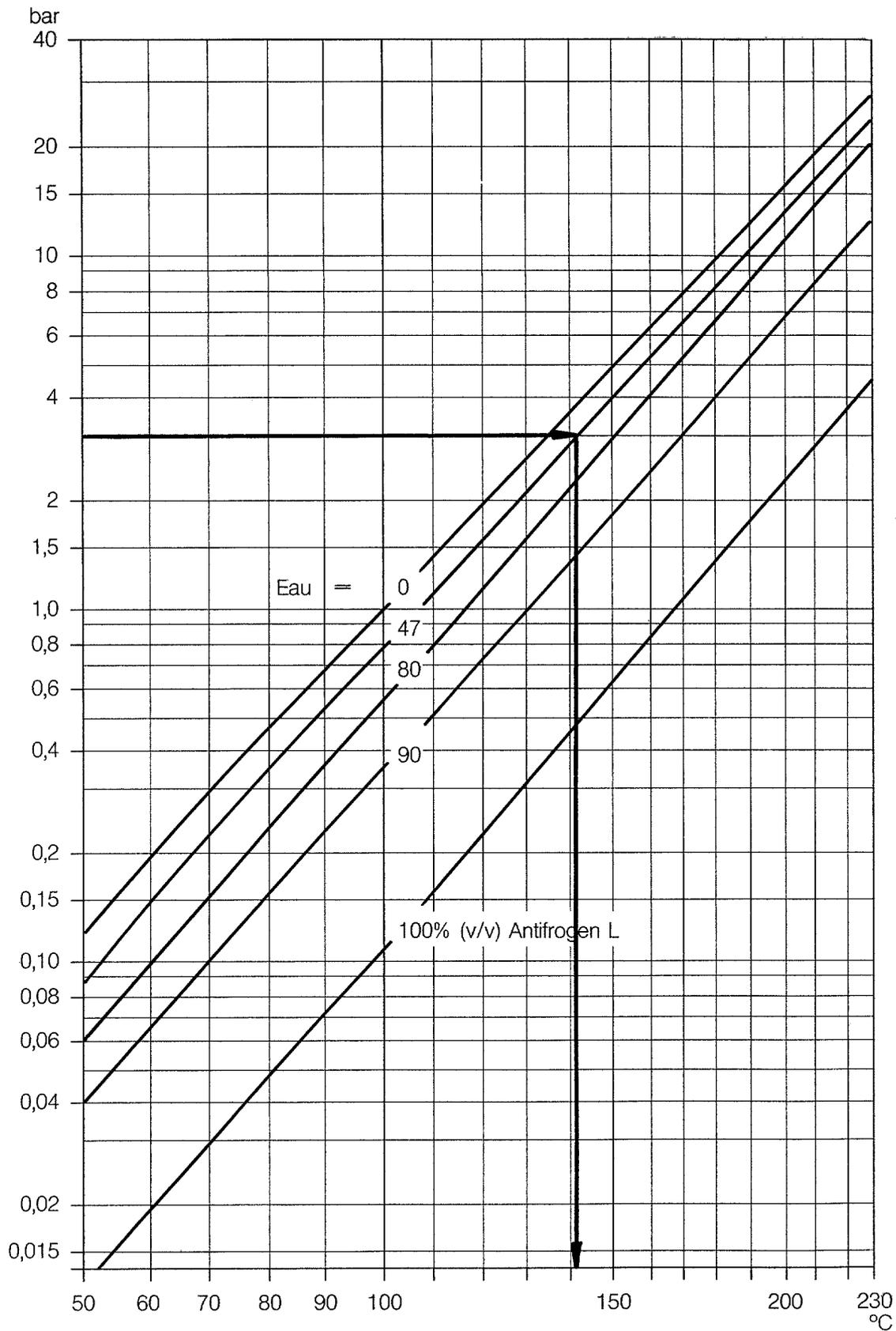
Pr = Pression de remplissage à froid du circuit (bar)

* Tableaux établis avec vase d'expansion et soupape de sécurité placés au même niveau

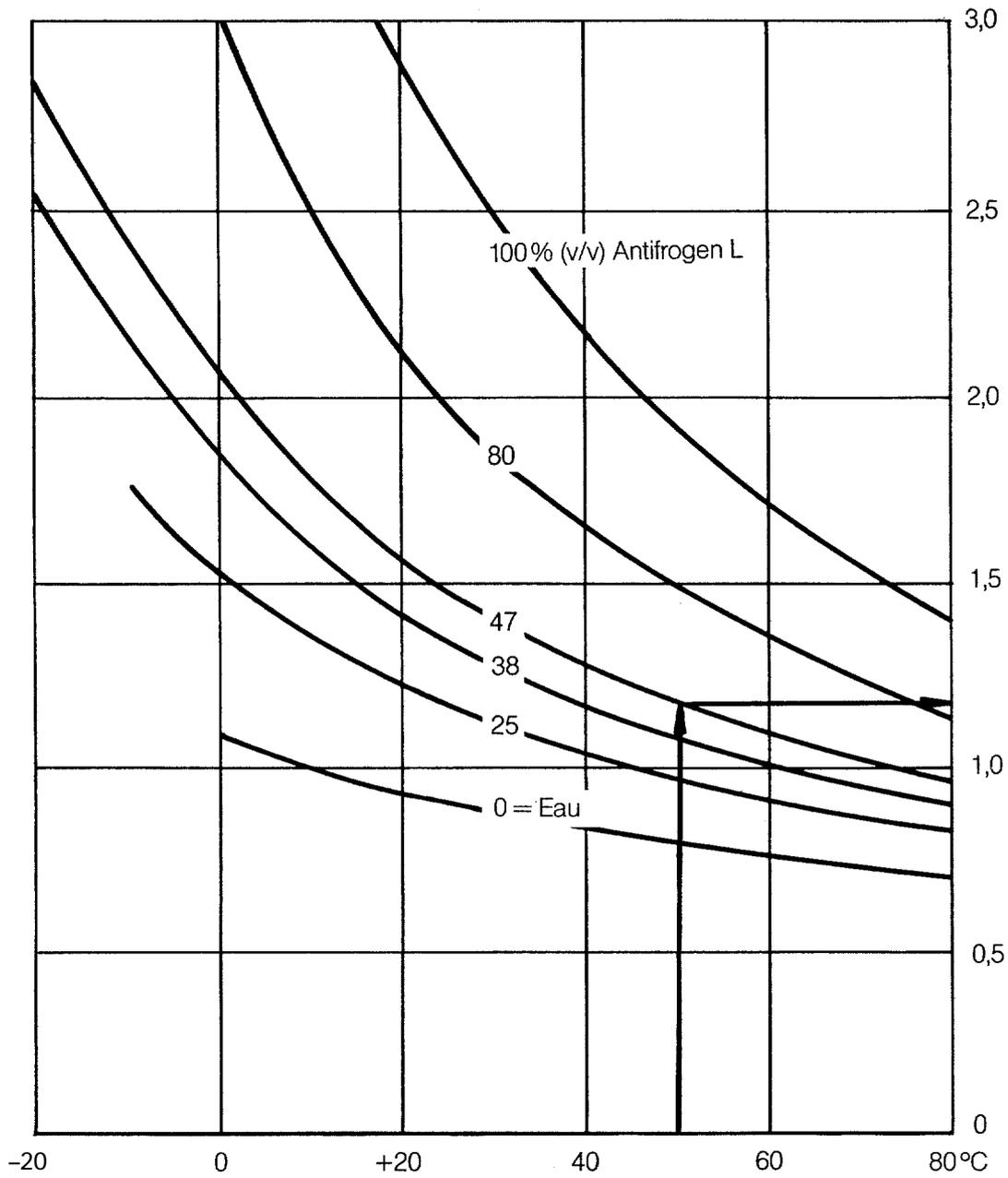
Protection contre le gel (point de cristallisation selon DIN 51 782)
des mélanges Antifrogen L'eau



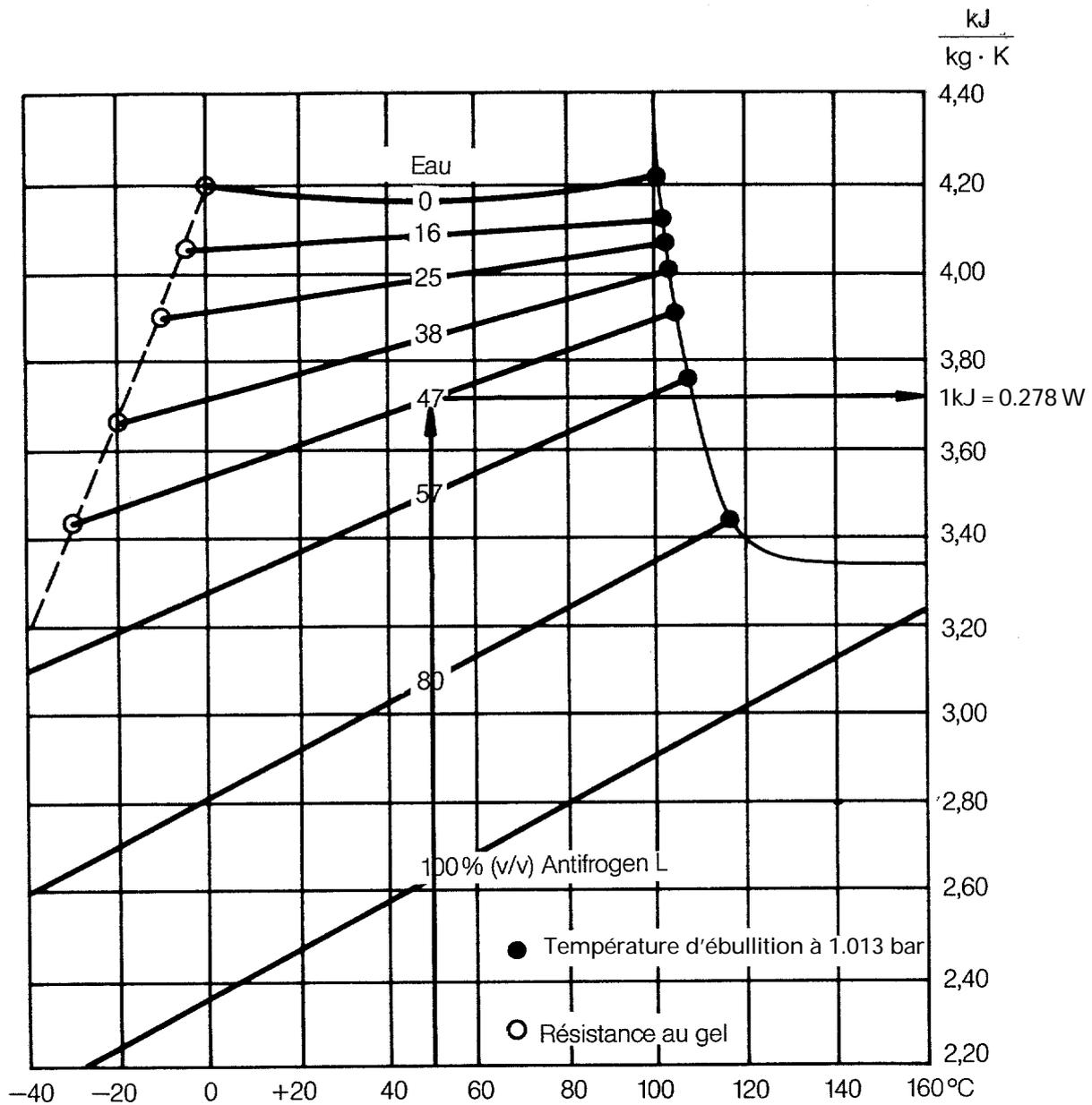
Point d'ébullition
des mélanges Antrifrogen L/eau en fonction de la pression



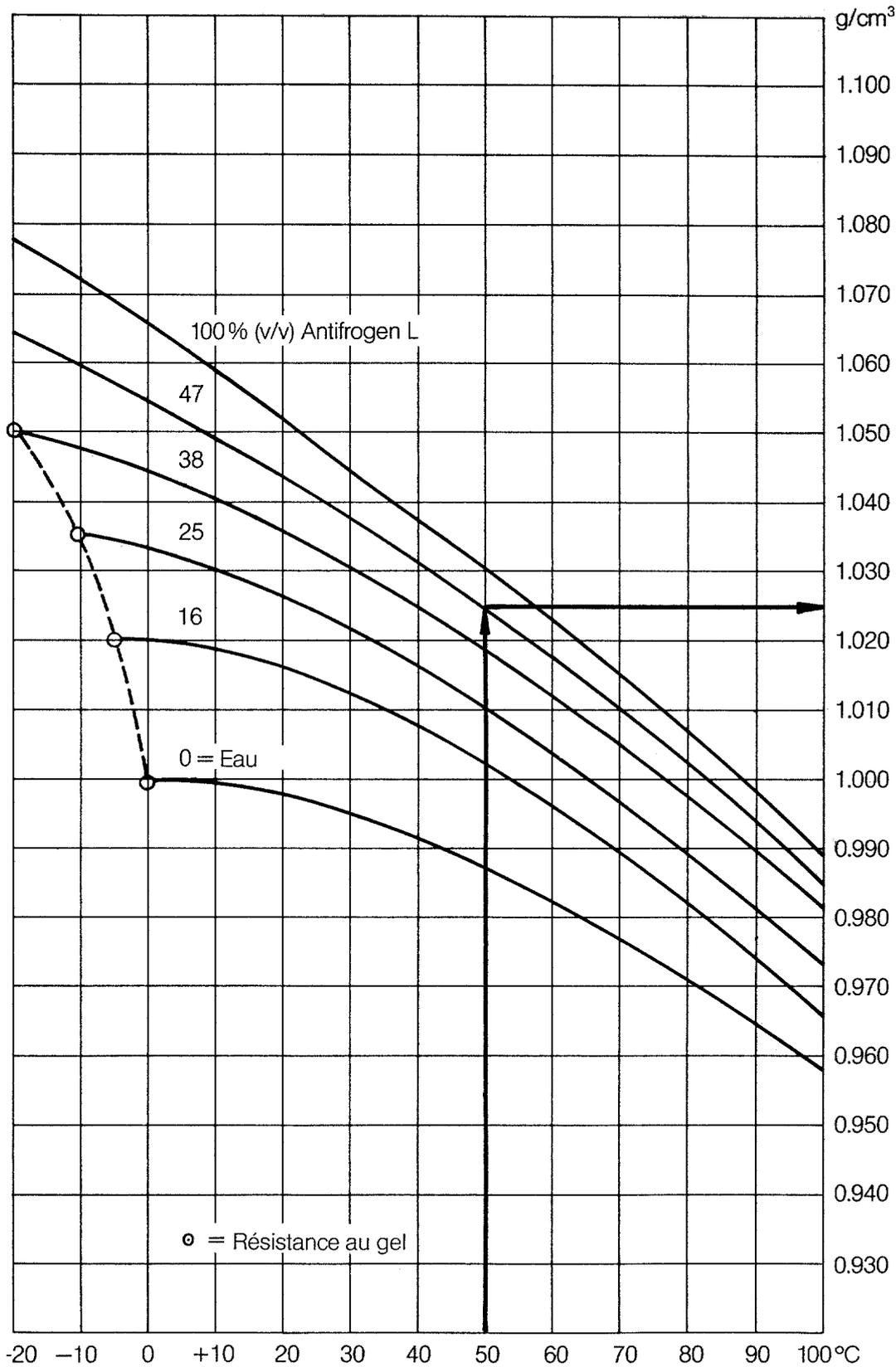
Pertes de charge relatives
des mélanges Antifrogen L/eau par rapport à de l'eau (+10 °C) avec courant turbulent



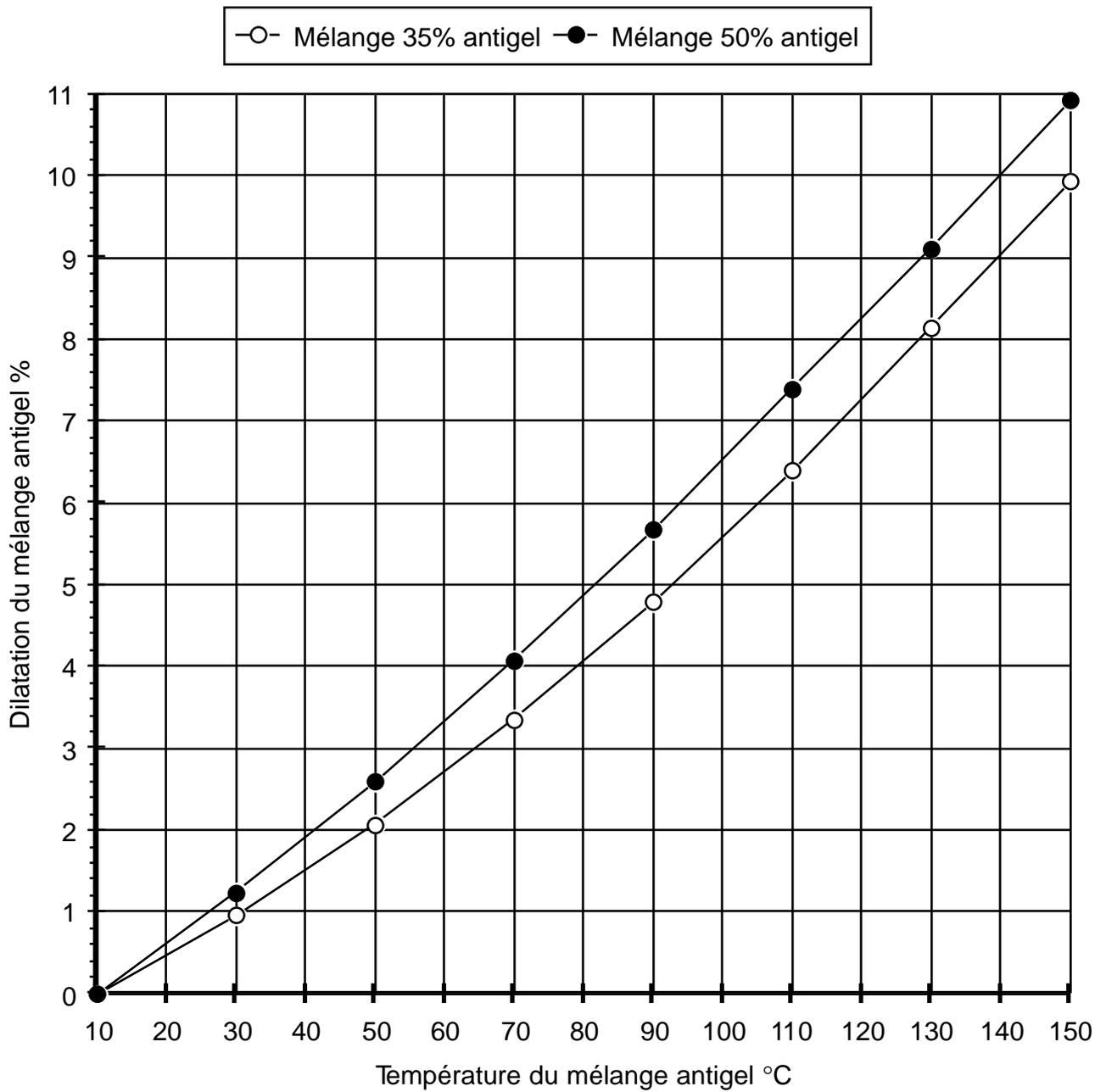
Chaleur spécifique
des mélanges Antifrogen L/eau en fonction de la température



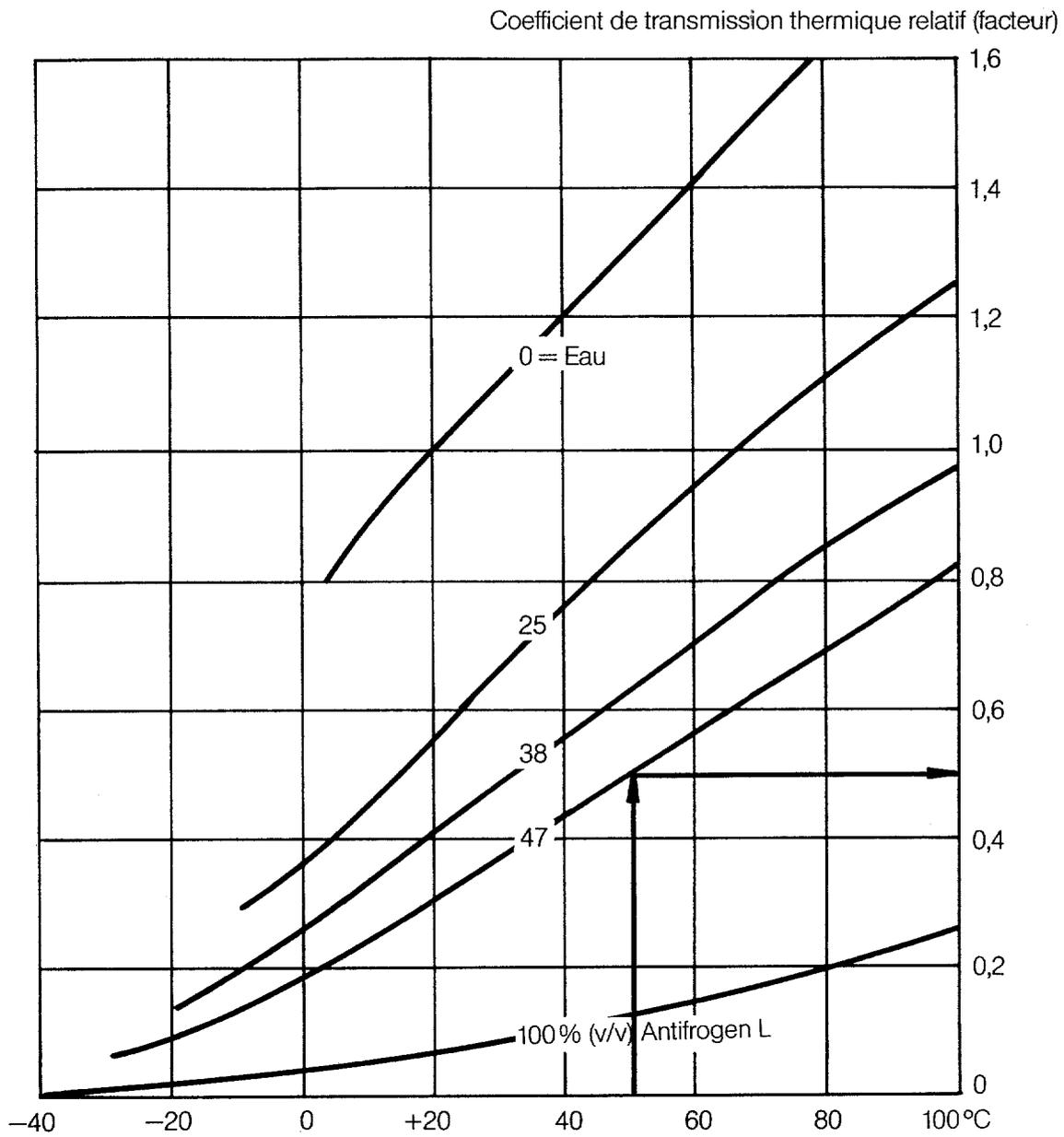
Densité
des mélanges Antifrogen L/eau en fonction de la température



Dilatation des mélanges antigél entre 10 et 150°C



Coefficient de transmission thermique relatif
des mélanges Antifrogen L/eau par rapport à de l'eau (+20°C) avec courant turbulent



Energie solaire – aspects financiers

Argumentation

Aux prix actuels des énergies il est rare de pouvoir justifier une installation solaire par des arguments purement économiques.

Il est nécessaire d'utiliser d'autres arguments qui plaident en faveur du choix d'une telle installation. C'est la raison pour laquelle tout calcul économique qu'un spécialiste en chauffage ou sanitaire soumet à un client potentiel devra être accompagné d'une liste d'arguments en faveur de l'énergie solaire.

Prix de l'énergie, ordres de grandeur (1994)

kWh	mazout ou gaz	5 à 10 cts
kWh	électricité	10 à 27 cts
kWh	énergie solaire pour la production d'eau chaude et éventuelle participation au chauffage dans les villas	30 à 50 cts
kWh	énergie solaire dans les locatifs ou immeubles avec une grande consommation d'eau chaude	10 à 25 cts

On constate que l'énergie solaire est rentable aujourd'hui déjà si:

- son prix est comparé à celui de l'électricité;
- lorsqu'elle est utilisée pour la préparation d'eau chaude sanitaires pour de gros consommateurs réguliers (immeubles locatifs, homes, etc.)

L'énergie solaire est efficace:

- dans le cas d'une villa, le taux de couverture solaire pour la préparation d'eau chaude est de 50 à 70% sur l'année et dépasse les 90% durant les mois d'été.

L'énergie solaire n'est pas toujours financièrement rentable – mais elle n'est pas chère pour autant!

Comparé à la production d'eau chaude par le mazout ou le gaz, les frais supplémentaires provoqués par une installation solaire ayant un taux de couverture des besoins de 50% se montent à environ Fr. 10.- par mois et logement. Ces frais supplémentaires sont calculés en déduisant l'équivalent prix des apports solaires des intérêts du montant investi.

La Confédération octroie actuellement des subventions pour des immeubles de plus de 5 appartements

Celles-ci se montent à Fr. 300.- par m² de capteurs. A ce montant peuvent s'ajouter des subventions cantonales ou des allègements fiscaux.

Seule l'énergie solaire couvre tous ses coûts, coûts payés lors de la construction des installations

Les autres formes d'énergie provoquent des coûts indirects qui ne sont pas compris dans leur prix de vente: dégradation de l'environnement provoqué par la pollution et ayant pour conséquences des maladies, des dégradations aux bâtiments, etc.

Rentabilité

L'exemple de la table est donné pour une installation solaire de préparation d'eau chaude sanitaire pour un immeuble de 15 appartements, habité par 60 personnes.

- Besoins d'eau chaude sanitaire 3000 l/j.
- Apports solaires 650 kWh/ m² capteur.
- Annuités 20 ans à 8%.

La colonne libre «Installation considérée» permet de reporter les valeurs correspondant à une installation particulière.

	Exemple	Unité	Exemple	Installation considérée
Consommation d'eau chaude		litres/jour	3000	.....
Surface de captage		m ²	48	.....
Energie annuelle utile.....kWh/m ²	650	kWh	31'200	.....
a. Investissement brut		Fr.	90'000.-	.....
Subventions à déduire Fr...../m ² capteurs	270	Fr.	-12'960.-	.....
b. Investissement net		Fr.	77'040.-	.....
Annuité.....%	8	Fr.	5'393.-	.....
Frais divers				
- électricité circulateur		Fr.	120.-	.....
- contrôle de l'installation		Fr.	300.-	.....
Dégrèvements fiscaux à déduire		Fr.	-800.-	.....
c. Frais annuels nets		Fr.	5013.-	.....
d. Prix de l'énergie solaire b/c/..... (Coût de l'énergie substituée)	5013/31'200	Fr. /kWh	0.16	.....
Prix comparé de l'énergie classique Fr./kWh x renchérissement/rendement		Fr. /kWh	.....	.....

- Subventions: se renseigner auprès du délégué à l'Energie du Canton concerné (Service de l'Energie)
- Dégrèvements fiscaux: se renseigner auprès du fisc
- Annuités et taux de renchérissements: donnés par les tables du présent chapitre, pages H7.3 et H7.4

Calculs de rentabilité

Facteur d'annuité (rentabilité du capital) a_n

Durée d'utilisation N en années	Intérêt du capital en %										
	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9
1	1,04	1,045	1,05	1,055	1,06	1,065	1,07	1,075	1,08	1,085	1,09
2	0,5302	0,5340	0,5378	0,5416	0,5454	0,5493	0,5531	0,5569	0,5608	0,5646	0,5685
3	0,3603	0,3638	0,3672	0,3707	0,3741	0,3776	0,3811	0,3845	0,3880	0,3915	0,3951
4	0,2755	0,2787	0,2820	0,2853	0,2886	0,2919	0,2952	0,2986	0,3019	0,3053	0,3087
5	0,2246	0,2278	0,2310	0,2342	0,2374	0,2406	0,2439	0,2472	0,2505	0,2538	0,2571
6	0,1908	0,1939	0,1970	0,2002	0,2034	0,2066	0,2098	0,2130	0,2163	0,2196	0,2229
7	0,1666	0,1697	0,1728	0,1760	0,1791	0,1823	0,1856	0,1888	0,1921	0,1954	0,1987
8	0,1485	0,1516	0,1547	0,1579	0,1610	0,1642	0,1675	0,1707	0,1740	0,1773	0,1807
9	0,1345	0,1376	0,1407	0,1438	0,1470	0,1502	0,1535	0,1568	0,1601	0,1634	0,1668
10	0,1233	0,1264	0,1295	0,1327	0,1359	0,1391	0,1424	0,1457	0,1490	0,1524	0,1558
11	0,1141	0,1172	0,1204	0,1236	0,1268	0,1301	0,1334	0,1367	0,1401	0,1435	0,1469
12	0,1066	0,1097	0,1128	0,1160	0,1193	0,1226	0,1259	0,1293	0,1327	0,1362	0,1397
13	0,1001	0,1033	0,1065	0,1097	0,1130	0,1163	0,1197	0,1231	0,1265	0,1300	0,1336
14	0,0947	0,0978	0,1010	0,1043	0,1076	0,1109	0,1143	0,1178	0,1213	0,1248	0,1284
15	0,0899	0,0931	0,0963	0,0996	0,1030	0,1064	0,1098	0,1133	0,1168	0,1204	0,1241
16	0,0858	0,0890	0,0923	0,0956	0,0990	0,1024	0,1059	0,1094	0,1130	0,1166	0,1203
17	0,0822	0,0854	0,0887	0,0920	0,0954	0,0989	0,1024	0,1060	0,1096	0,1133	0,1170
18	0,0790	0,0822	0,0855	0,0889	0,0924	0,0959	0,0994	0,1030	0,1067	0,1104	0,1142
19	0,0761	0,0794	0,0827	0,0862	0,0896	0,0932	0,0968	0,1004	0,1041	0,1079	0,1117
20	0,0736	0,0769	0,0802	0,0837	0,0872	0,0908	0,0944	0,0981	0,1019	0,1057	0,1095
21	0,0713	0,0746	0,0780	0,0815	0,0850	0,0886	0,0923	0,0960	0,0998	0,1037	0,1076
22	0,0692	0,0725	0,0760	0,0795	0,0830	0,0867	0,0904	0,0942	0,0980	0,1019	0,1059
23	0,0673	0,0707	0,0741	0,0777	0,0813	0,0850	0,0887	0,0925	0,0964	0,1004	0,1044
24	0,0656	0,0690	0,0725	0,0760	0,0797	0,0834	0,0872	0,0911	0,0950	0,0990	0,1030
25	0,0640	0,0674	0,0710	0,0745	0,0782	0,0820	0,0858	0,0897	0,0937	0,0977	0,1018
26	0,0626	0,0660	0,0696	0,0732	0,0769	0,0807	0,0846	0,0885	0,0925	0,0966	0,1007
27	0,0612	0,0647	0,0683	0,0720	0,0757	0,0795	0,0834	0,0874	0,0914	0,0956	0,0997
28	0,0600	0,0635	0,0671	0,0708	0,0746	0,0785	0,0824	0,0864	0,0905	0,0946	0,0989
29	0,0589	0,0624	0,0660	0,0698	0,0736	0,0775	0,0814	0,0855	0,0896	0,0938	0,0981
30	0,0578	0,0614	0,0651	0,0688	0,0726	0,0766	0,0806	0,0847	0,0888	0,0931	0,0973
31	0,0509	0,0604	0,0641	0,0679	0,0718	0,0758	0,0798	0,0839	0,0881	0,0924	0,0957
32	0,0559	0,0596	0,0633	0,0671	0,0710	0,0750	0,0791	0,0832	0,0875	0,0917	0,0961
33	0,0551	0,0587	0,0625	0,0663	0,0703	0,0743	0,0784	0,0826	0,0869	0,0912	0,0956
34	0,0543	0,0580	0,0618	0,0656	0,0696	0,0737	0,0778	0,0820	0,0863	0,0907	0,0951
35	0,0536	0,0573	0,0611	0,0650	0,0690	0,0731	0,0772	0,0815	0,0858	0,0902	0,0946
40	0,0505	0,0543	0,0583	0,0623	0,0665	0,0707	0,0750	0,0794	0,0839	0,0884	0,0930
45	0,0483	0,0522	0,0563	0,0604	0,0647	0,0691	0,0735	0,0780	0,0826	0,0872	0,0919
50	0,0466	0,0506	0,0548	0,0591	0,0634	0,0679	0,0725	0,0771	0,0817	0,0865	0,0912
55	0,0452	0,0494	0,0537	0,0581	0,0625	0,0671	0,0717	0,0764	0,0812	0,0850	0,0908
60	0,0442	0,0485	0,0528	0,0573	0,0619	0,0665	0,0712	0,0760	0,0808	0,0856	0,0905

$$a_n = \frac{p}{1 - \frac{1}{(1+p)^n}} = \frac{p}{1 - \frac{1}{p^n}}$$

a_n = facteur d'annuité [sans unité]

p = $\frac{\text{intérêt du capital en \%}}{100}$ [sans unité]

n = Durée d'utilisation [années]
(jusqu'au changement)

P = $\frac{\text{intérêt du capital en \%}}{100} + 1$ [sans unité]

Calculs de rentabilité

Facteur de valeur moyenne \bar{t}

renchérissement moyen du prix de l'énergie pour un paiement annuel, régulier et progressif après le terme.

Durée d'utilisation N en années	Renchérissement annuel moyen du prix de l'énergie (t) en %									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1,01	1,02	1,03	1,04	1,05	1,06	1,07	1,06	1,09	1,10
2	1,01	1,03	1,05	1,06	1,08	1,09	1,11	1,12	1,14	1,15
3	1,02	1,04	1,06	1,08	1,10	1,12	1,14	1,17	1,19	1,21
4	1,02	1,05	1,08	1,10	1,13	1,16	1,18	1,21	1,24	1,27
5	1,03	1,06	1,09	1,12	1,16	1,19	1,22	1,26	1,29	1,33
6	1,03	1,07	1,11	1,14	1,18	1,22	1,26	1,31	1,35	1,40
7	1,04	1,08	1,12	1,16	1,21	1,26	1,31	1,36	1,41	1,46
8	1,04	1,09	1,14	1,19	1,24	1,29	1,35	1,41	1,47	1,53
9	1,05	1,10	1,15	1,21	1,27	1,33	1,39	1,46	1,53	1,61
10	1,05	1,11	1,17	1,23	1,30	1,36	1,44	1,52	1,60	1,69
11	1,06	1,12	1,18	1,25	1,32	1,40	1,49	1,57	1,67	1,77
12	1,06	1,13	1,20	1,27	1,35	1,44	1,53	1,63	1,74	1,86
13	1,07	1,14	1,21	1,30	1,38	1,48	1,58	1,69	1,82	1,95
14	1,07	1,15	1,23	1,32	1,41	1,52	1,60	1,76	1,89	2,04
15	1,07	1,16	1,24	1,34	1,44	1,56	1,69	1,82	1,97	2,14
16	1,08	1,16	1,26	1,36	1,48	1,60	1,74	1,89	2,06	2,24
17	1,08	1,17	1,27	1,38	1,51	1,64	1,79	1,96	2,15	2,35
18	1,09	1,18	1,29	1,41	1,54	1,69	1,85	2,03	2,24	2,47
19	1,09	1,19	1,30	1,43	1,57	1,73	1,91	2,11	2,33	2,59
20	1,09	1,20	1,32	1,45	1,60	1,78	1,97	2,19	2,43	2,71
21	1,10	1,21	1,33	1,48	1,64	1,82	2,03	2,27	2,53	2,84
22	1,10	1,22	1,35	1,50	1,67	1,87	2,09	2,35	2,64	2,98
23	1,11	1,23	1,36	1,52	1,70	1,91	2,16	2,43	2,75	3,12
24	1,11	1,24	1,38	1,55	1,74	1,96	2,22	2,52	2,87	3,27
25	1,11	1,24	1,39	1,57	1,78	2,01	2,29	2,61	2,99	3,43
26	1,12	1,25	1,41	1,59	1,81	2,06	2,36	2,71	3,12	3,60
27	1,12	1,26	1,42	1,62	1,84	2,11	2,43	2,80	3,25	3,77
28	1,12	1,27	1,44	1,64	1,88	2,16	2,50	2,90	3,38	3,96
29	1,13	1,28	1,45	1,66	1,92	2,21	2,57	3,00	3,52	4,15
30	1,13	1,28	1,47	1,69	1,95	2,27	2,65	3,11	3,67	4,35

Base: Intérêt du capital = 5%. Lors d'un intérêt de 4 resp. 6% le facteur de valeur moyenne est assez précis sur une période de 30 ans; s'il est de 7%, la période se limitera à 20 ans.

$$\bar{t} = \frac{T}{P} \cdot \frac{\left(\frac{T}{P}\right)^n - 1}{\frac{T}{P} - 1} \cdot \frac{P - 1}{1 - \frac{1}{P^n}}$$

\bar{t} = facteur de valeur moyenne [sans unité]

n = durée d'utilisation [années]

P = $\frac{\text{intérêt du capital en \%}}{100} + 1$ [sans unité]

T = $\frac{\text{renchérissement par année en \%}}{100} + 1$ [sans unité]

Exemple: p = 5 %
 t = 8 %
 n = 20 ans
 \bar{t} = 2,19 %

Sécurité

1. Travail sur un toit en pente

Respecter l'ordonnance concernant la prévention des accidents dans les travaux de toiture et les travaux exécutés sur les toits (CNA-Form. 1805).

Les articles principaux de cette ordonnance sont reproduits ci-dessous, et les mesures de protection à prendre expliquées au moyen de figures.

Art. 1 Champ d'application et réserves

- al.1 La présente ordonnance s'applique à toutes les entreprises soumises à l'assurance obligatoire en vertu de la loi fédérale du 13 juin 1911 sur l'assurance en cas de maladie et d'accidents.
- al.2 Sont réservées les prescriptions cantonales et communales sur la police des constructions si elles ne sont pas contraires à la présente ordonnance.

Art. 14 Ponts d'échafaudages en contrebas du chéneau

L'article 14 s'applique lors de la couverture de toits dans les bâtiments neufs ou lors de rénovations. Un planning précis et une bonne coordination des travaux permettront d'utiliser sans grande modifications les mêmes échafaudages pour divers travaux.

- al.1 Lors de travaux aux toitures et sur celles-ci avec travaux aux chéneaux (...), il y a lieu avant le début des travaux, de prendre les mesures de protection suivantes:
 - a) Etablir à environ 1 mètre en contrebas de la gouttière un pont d'échafaudage avec plateaux jointifs;
 - b) Placer le long du pont du côté du vide, une paroi de protection distante horizontalement de 60 cm au moins du chéneau et dépassant le niveau de l'arête supérieure de celui-ci de 60 cm au minimum;
 - c) Construire pleine la paroi de protection, du niveau du chéneau jusqu'à celui du pont, ou la munir d'un grillage métallique à mailles serrées (ouvertures des mailles de 5 cm au maximum) suffisamment résistant, pour arrêter la chute de personnes ou de matériaux. Au-dessus du niveau du chéneau, des intervalles vides de 25 cm au maximum sont autorisés dans la paroi de protection.

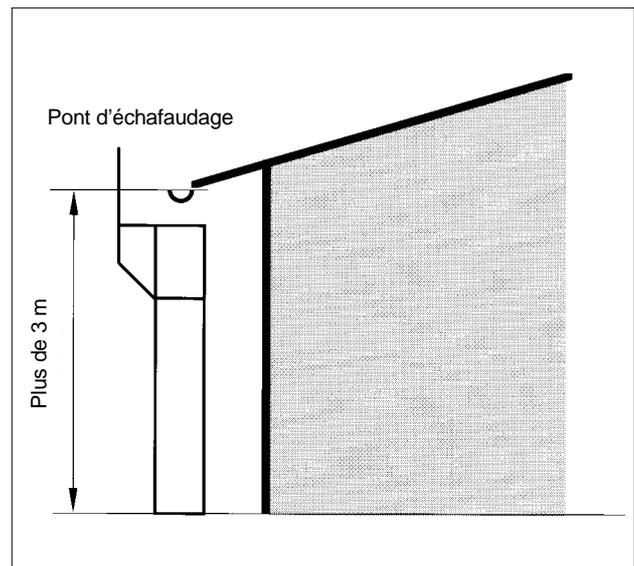


Figure h01 – Art. 14
Montage des capteurs s'ils sont situés au bas du toit

- al.2 D'autres mesures de protection sont admises seulement si elles offrent la même sécurité que celles qui sont prescrites au 1er alinéa.

Petits travaux sur un toit en pente

Art. 15 *Paroi de protection au-dessus du chéneau*

Si, lors de travaux à des bâtiments existants, il n'est pas nécessaire de réparer ou de modifier le chéneau ou l'avant-toit, on peut renoncer à la construction d'un pont d'échafaudage selon l'article 14. Il faut, en revanche élever au bas du pan du toit une paroi de protection ininterrompue et solide d'au moins 60 cm de hauteur. Celle-ci devra être suffisamment résistante pour arrêter dans tous les cas la chute de personnes ou de matériaux.

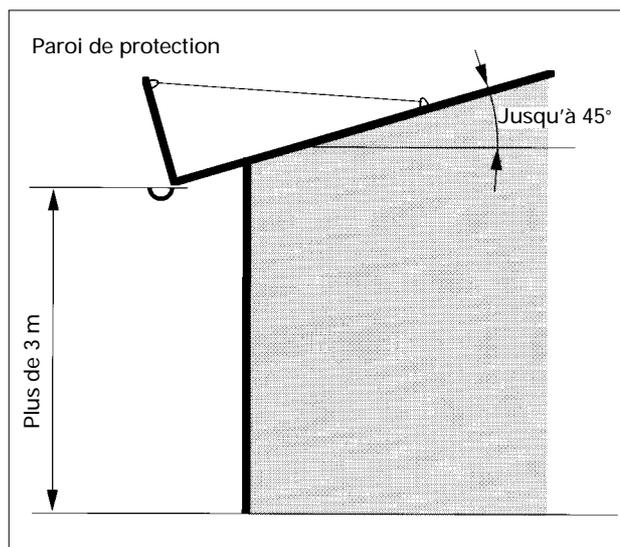


Figure h02 – Art. 15
Montage des capteurs s'ils sont situés au haut du toit, ou contrôles

Art. 16 *Mesures de protection contre les glissades*

L'exécution de travaux de contrôle ou de nettoyage, de petites réparations, de travaux de peinture ou de déblaiement de la neige, la pose d'antennes et l'exécution de travaux similaires sur des toits dont la pente est supérieure à 45 pour cent ne doit se faire qu'à partir d'échelles de couvreur fixées solidement. Si cela n'est pas possible, le personnel doit s'assurer à l'aide d'une corde ou utiliser un appareil anti-chute approprié.

Art. 17 *Mesures à prendre en cas de mauvais temps*

Par temps humide ou pluvieux et en cas de risque de gel, les dispositions de l'article 16 sont valables par analogie lorsqu'on circule sur un toit dont la pente est inférieure à 45 pour cent.

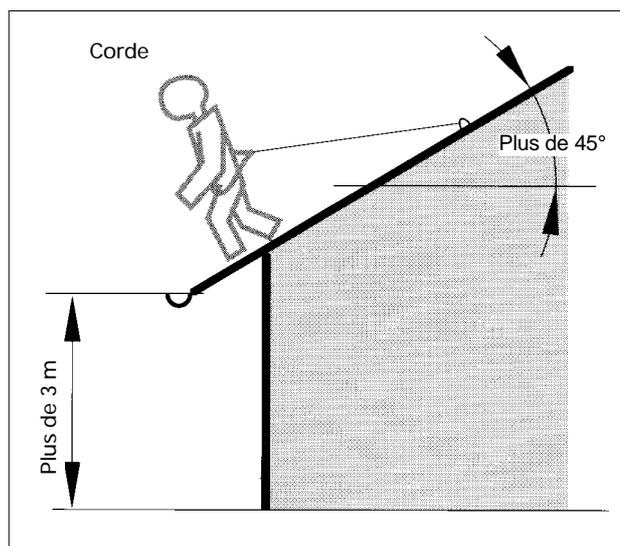


Figure h03 – Art. 16 et 17
Petits travaux, ou contrôles

2. Travail sur un toit plat

La protection des personnes contre les chutes dans le cas de travaux sur les toits plats est assurée par le respect de l'article 3 de l'ordonnance concernant la prévention des accidents dans les travaux de construction (CNA-Form. 1796).

Lors de la construction d'immeubles, (...), le respect de ces prescriptions est impératif.

Des protections sous forme d'échafaudages, de garde-corps, de filets, etc. doivent pouvoir éviter toute chute (fig. 4).

Lors de travaux d'amélioration ou de rénovation sur des toits plats, il suffit d'utiliser des protections individuelles, selon l'article 47 de l'ordonnance concernant la prévention des accidents dans les travaux de construction. On ne peut se passer de telles mesures que dans les cas où le toit plat est à moins de 3 m au-dessus du terrain.

Lors de la construction d'immeubles, les ingénieurs et architectes peuvent mettre en oeuvre des mesures simples facilitant la pose de garde-corps lors de travaux de rénovation ultérieurs. Ainsi peut-on par exemple prévoir des douilles dans la toiture ou des amorces de fixation sur les façades.

Des mesures de protection sont nécessaires lorsque le faite du toit se trouve à plus de 3 m au-dessus du terrain. Une bonne préparation et coordination des travaux permet d'utiliser les protections dans d'autres occasions sans surcoût.

Petits travaux sur des toits plats lors de la rénovation ou de la remise en état de bâtiments anciens.

L'article 47 de l'ordonnance concernant la prévention des accidents dans les travaux de construction prescrit que:

Lorsque des mesures collectives de protection contre les chutes de personnes ne peuvent être prises, les ouvriers seront, partout où cela est possible, assurés par une ceinture de sécurité ou un appareil anti-chute solidement amarré.

Une telle mesure de sécurité, avec ceinture et corde est indispensable si le toit plat se trouve à plus de 3 m au-dessus du terrain.

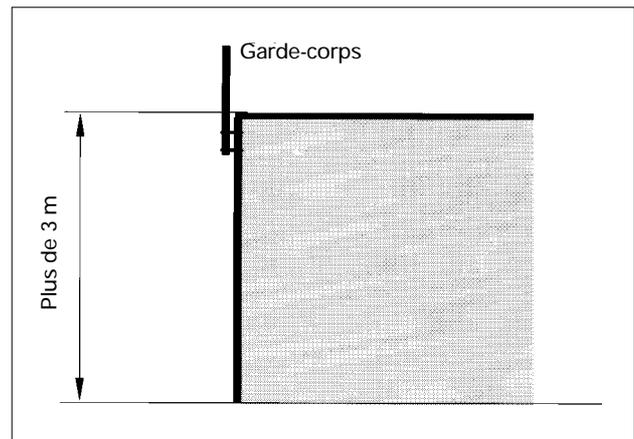


Figure h04
Montage des capteurs sur bâtiments neufs

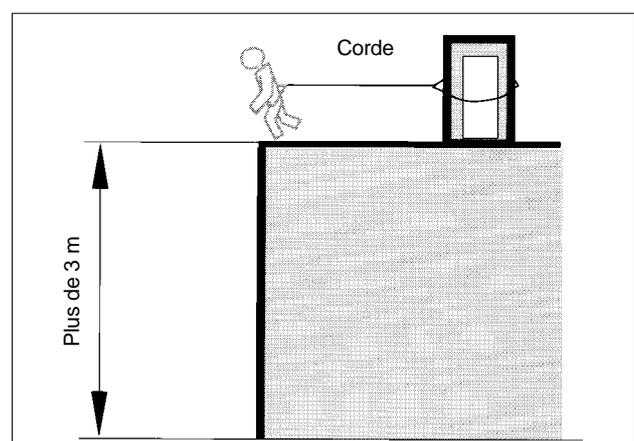


Figure h05
Montage des capteurs sur bâtiments existants

Glossaire

Absorbeur	C'est le cœur du capteur solaire: il absorbe le rayonnement-solaire et le transforme en chaleur. Cette chaleur élève la température du liquide caloporteur circulant dans l'absorbeur.
A_{relT} (pour chauffage et sanitaire)	Surface relative théorique de capteurs solaires par tranche de 1 MWh/a de consommation d'énergie, avant correction par les facteurs «f»
A_{relT} (pour sanitaire)	Surface relative théorique de capteurs solaires par usager ou par tranche de 50 l/j de consommation d'eau chaude, avant correction par les facteurs «f»
A_{relI} (pour chauffage et sanitaire)	Surface relative de capteurs solaires par tranche de 1 MWh/a de consommation d'énergie, après correction par les facteurs «f»
A_{relI} (pour sanitaire)	Surface relative de capteurs solaires par usager ou par tranche de 50 l/j de consommation d'eau chaude, après correction par les facteurs «f»
Azimut du capteur	Terme désignant l'orientation (voir «orientation»)
Capteur solaire thermique	Capte l'énergie solaire et permet de l'utiliser sous forme d'énergie thermique
Conduction	Chaleur traversant une matière solide ou liquide.
Convection	Echauffement d'un fluide circulant naturellement le long d'une paroi chaude. Le fluide réchauffé cède sa chaleur vers des zones plus froides.
EC	Eau chaude sanitaire
EF	Entrée eau froide sanitaire dans le chauffe-eau
Energie	Produit de la puissance par le temps; Exemples d'unités: kWh, MJ
Energie d'appoint	Energie traditionnelle à fournir pour compléter l'énergie utile apportée par l'installation solaire, pour couvrir les besoins totaux de l'installation.
Energie substituée	Energie utile apportée par l'installation solaire. Elle couvre une part plus ou moins importante des besoins totaux en énergie et remplace ainsi une partie de l'énergie traditionnelle.
Facteur F_a	Facteur de correction selon la température de service du circuit chauffage, pour le calcul de la surface de captage.
Facteur F_c	Facteur de correction du rendement du capteur, pour le calcul de la surface de captage
Facteur F_g	Facteur de correction global, pour le calcul de la surface de captage.

Facteur Foi	Facteur de correction d'orientation et d'inclinaison, pour le calcul de la surface de captage
Inclinaison du capteur	Angle entre le plan du capteur et l'horizontal
Liquide caloporteur	Ce liquide, véhiculé par un circulateur, transfère la chaleur des capteurs au consommateur d'énergie (échangeur, accumulateur)
Orientation du capteur	Disposition du plan du capteur par rapport au sud: Sud = 0°; Est = -90°; Ouest = 90°
Pans	Pression nominale de la soupape de sécurité; c'est la pression du début d'ouverture de la soupape
Pfa	Pression finale maximale à chaud dans le vase d'expansion
Pi	Pression de gonflage du vase d'expansion
Puissance	Valeur indiquant un travail instantané; Exemples d'unités: kW, MJ/h
Pr	Pression de remplissage à froid de l'installation
Qch	Consommation d'énergie annuelle pour le chauffage des locaux
Qecs	Consommation d'énergie annuelle pour l'eau chaude sanitaire
Qtot	Consommation d'énergie annuelle totale pour le chauffage et l'eau chaude
Rayonnement	Corps chaud émettant de l'énergie sous forme de rayonnement infrarouge vers un corps plus froid.
Rayonnement solaire global	Somme du rayonnement solaire direct et diffus
Rayonnement solaire diffus	Lumière diffusée par l'atmosphère et surtout par les nuages
Rayonnement solaire direct	Lumière nous parvenant directement du soleil par ciel clair
Rayonnement solaire incident	Rayonnement solaire sur une surface donnée (global)
Rayonnement solaire global	Somme du rayonnement solaire direct et diffus
Rendement annuel du capteur	Rapport entre le rayonnement incident annuel sur le capteur et l'énergie utile fournie par les capteurs à des températures de fonctionnement supérieures à une limite fixée. Au-dessous de cette limite, l'énergie qu'il serait possible de capter n'est pas prise en compte. Le rendement annuel à une température donnée est intéressant pour le choix d'un capteur selon l'usage auquel il est destiné.

Rendement instantané du capteur	Rendement du capteur pour un moment donné et des conditions données: puissance du rayonnement solaire incident, différence de température entre le capteur et l'ambiance. Ces conditions sont exprimées par la dénomination η . Le rendement $\eta 0.05$ est généralement pris en compte lors du choix d'un capteur solaire pour la production d'eau chaude sanitaire. $\eta 0.05 : \Delta t \text{ capteurs} - \text{ambiance} = 40 \text{ K}$, rayonnement solaire = 800 W/m^2
Revêtement sélectif	Couche revêtant l'absorbeur et ayant la particularité de mieux absorber le rayonnement solaire qu'il n'émet le rayonnement infrarouge
Taux de couverture solaire	Pourcentage des besoins en énergie couvert par l'installation solaire. Le taux se rapporte toujours aux besoins de référence: eau chaude, eau chaude et chauffage, etc.
VA	Volume d'accumulateur chauffé par l'appoint
VS	Volume d'accumulateur réservé au stockage de l'énergie solaire
VT	Volume total de l'accumulateur
Δh	Différence de hauteur entre le point haut du circuit et le vase d'expansion

Bibliographie

No	Auteur	Titre	Edition
1.	C.A. Roulet C. Jobin L. Keller N. Schmitt J.M. Suter	Chauffe-eau solaires	EDMZ 3000 Berne Déc. 1987
2.	B. Schläpfer P. Schneiter K. Wellinger	Planung Solarer Wassererwärmungsanlagen	SOFAS 8050 Zurich Nov. 1987
3.	P. Bremer M. Heimlicher G. Schriber P. Kesselring R. Minder P. Valko	Météonorm Energie solaire: Théorie	OFEN 1986
4.	U. Frei T. Häuselmann E. Rohner	Leistungsdaten thermischer Sonnenkollektoren	OFEN 1991
5.	H. Grallert	Solarthermische Heizungssysteme	Oldenburg 1978
6.	H. Kuchling	Taschenbuch der Physik 1988	Harry Deutsch
7.	J. Hermann	dtv-Atlas zur Astronomie	Deutscher Taschenbuchverlag 1973
8.	+GF+	Weichlote und Flussmittel	+GF+ Schaffhouse
9.	CNA	Travaux sur toitures	CNA, 6000 Lucerne
10.	C. Macherel G. Krebs	Installations solaires de préchauffage de l'eau chaude sanitaire	Ville de Genève Service de l'Energie 1990
11.	P. Jaboyedoff	Règles pratiques de dimensionnement et planification optimales d'installations solaires	SOFAS, 8050 Zurich 1990
12.	E. Rohner U. Frei	Polysun, Programmes PC, SPF Rapperswil	Infoenergie Case Postale 310 5200 Brugg
13.	O. Zahn L. Keller	Mise au point et test d'installations solaires à injection directe simplifiée	Bureau Keller & Zahn 1175 Lavigny 1992

No	Auteur	Titre	Edition
14.	O. Fux B. Berchtold J. Reist C. Stauber E. Zehender	SI-Handbuch	VSSH 1992
15.	Fluide caloporteur Hoechst Antifrogen L	Hoechst AG D - 6230 Frankfurt am	Main 80 1989

Adresses utiles

- Vous souhaitez vous informer sur le solaire

INFOENERGIE
Rue de Tivoli 16
2300 Neuchâtel
Tél. 038/ 41 35 25
Fax 038/30.52.53

ENET
Office fédéral de l'énergie
Kapellenstrasse 14
3003 BERNE
Tél. 031/ 352 19 00

Service de l'énergie de chaque canton

- Vous désirez perfectionner vos connaissances professionnelles

Le programme PACER de l'Office fédéral des questions conjoncturelles organise, dans tout le pays des cours de formation continue destinés aux architectes, ingénieurs et installateurs. Parmi ceux-ci un cours traite des installations solaires thermiques.

Le journal «Construction et énergie» contient le calendrier des cours, il peut être obtenu gratuitement à l'adresse suivante:

Coordination romande du programme d'action «Construction et énergie»
EPFL-LESO Case postale 12
1000 Lausanne 15
Fax 021/ 693 27 22

- Vous souhaitez adhérer à une association œuvrant pour la promotion de l'énergie solaire

SSES
Société suisse pour l'énergie solaire
Belpstrasse 69
3000 BERNE 14
Tél. 031/ 45 80 00

SSES
Section locale pour la plupart des cantons romands

- Vous désirez connaître l'adresse de fournisseurs et de professionnels du solaire

PROMES
Association des professionnels romands de l'énergie solaire
Case postale 6
1510 MOUDON
Tél. 021/905 26 56

SOFAS
Sonnenenergie-Fachverband Schweiz
Edisonstrasse 22
8050 ZURICH
Tél. 01/ 311 90 40

- Vous êtes intéressés par les résultats d'expériences sur de grands bâtiments

Ville de Genève
Département municipal des constructions et de la voirie
1219 LE LIGNON / Genève

- Vous désirez commander d'autres exemplaires de ce manuel, une cassette vidéo ou d'autres publications du programme PACER

Coordination romande du programme d'action «Construction et énergie»
EPFL-LESO Case postale 12
c/o Daniel Notter
1000 Lausanne 15
Fax 021/ 693 27 22

Association de soutien

UVACIM

**Union vaudoise
des associations commerciales,
industrielles et des métiers**