

Mémo Thermo-hydraulique du chauffage à eau chaude

Cette fiche, rédigée par Christian Cardonnel (CCConsultant), propose différentes méthodes et formules de calculs associées pour le dimensionnement d'un couple émetteur / distribution de chauffage. Une feuille de calcul est disponible sur le site des membres de l'AICVF.

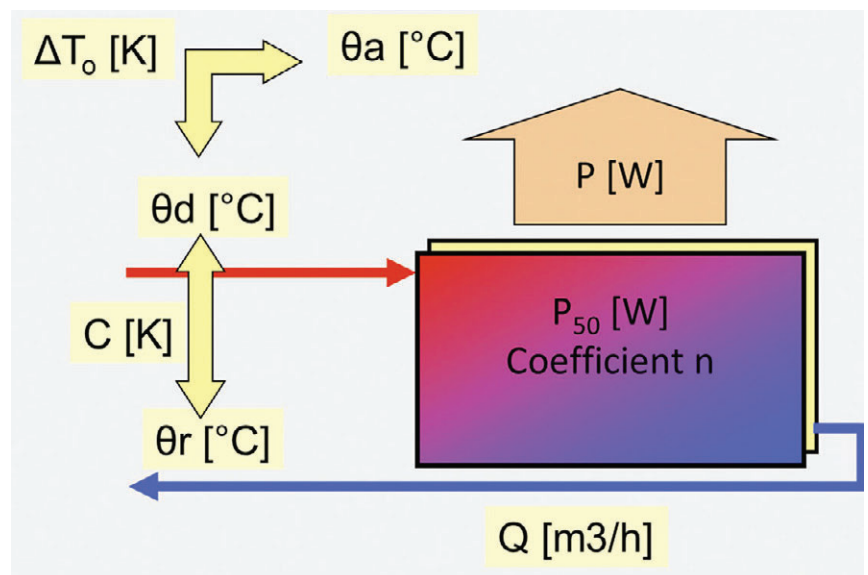
Le dimensionnement et le comportement d'une installation de chauffage par radiateurs ou planchers chauffants sont essentiels au confort des usagers, à la réduction des consommations et à l'amélioration de la performance de la génération de chaleur : chaudière gaz haut rendement ou à condensation, pompe à chaleur PAC, système EnR. Le réseau de distribution est l'élément de liaison entre les besoins, les émetteurs et la génération de chaleur. Mais mal dimensionné, mal configuré, mal équilibré, mal isolé, emboué, il devient le talon d'Achille de l'installation et tout va de guingois.

Ce mémo propose les principales formules (simplifiées et réversibles) qui permettent de répondre à vos différents besoins et apporter des solutions aux questions posées.

Le dimensionnement initial

Il est réalisé en fonction des déperditions de chaque local représentées par son coefficient H (W/K), de la température ambiante souhaitée ($\theta_a = 19$ ou 20 °C par exemple), de la température extérieure de base du site ($\theta_{eb} = -7$ °C en région parisienne selon guide 01-2019 déperditions AICVF, ou la norme NFP 12831 et son annexe française) et d'un facteur de majoration de puissance (20 % en règle générale).

$P_{max} (W) = H (\theta_a - \theta_{eb}) \times (1 + \text{Majoration } P)$
A partir de cette puissance P max (W), il faut ensuite déterminer le corps de



chauffe en fonction de la norme EN 442 avec la Puissance P_{50} (W) et le coefficient d'émission n (-), le niveau de température de départ maximale θ_d (°C) dans les conditions de base θ_{eb} (°C) et l'efficacité souhaitée de l'émission.

L'efficacité d'un équipement de chauffage est caractérisée par le rapport :

$$\text{Eff} (-) = (\theta_d - \theta_r) / (\theta_d - \theta_a) = C / \Delta T_0$$

avec C la chute ($\theta_d - \theta_r$) et ΔT_0 l'écart de température à l'entrée du radiateur ($\theta_d - \theta_a$).

Pour un fonctionnement correct, la valeur de l'efficacité Eff est de l'ordre de 0,25 à 0,30 dans les conditions nominales, avec un bon équilibre entre la puissance P_{50} des émetteurs et le débit d'eau chaude. Avec Eff qui tend vers 1, la taille de l'émetteur sera très importante

et le débit d'eau faible, avec Eff qui tend vers 0, c'est le contraire avec un débit d'eau très important. Nous préconisons une valeur d'efficacité de 0,25.

Ci-dessous les efficacités des systèmes « traditionnels » :

- Radiateurs classiques 90/70 °C et ambiance à 20 °C → $\text{Eff} = (90-70)/(90-20) = 0,285$
- Radiateurs chaleur douce 55/45 °C et ambiance à 20 °C → $\text{Eff} = (55-45)/(55-20) = 0,285$
- Plancher Chauffant Basse Température 35/30 °C et ambiance à 20 °C → $\text{Eff} = (35-30)/(35-20) = 0,333$

L'émission d'un radiateur est donnée par la formule

$$P (W) = P_{50} (\Delta T / 50)^n$$

Le ΔT (K) est calculé en fonction de $\Delta T_0 = (\theta_d - \theta_a)$ et l'efficacité Eff. Pour le plancher chauffant, on peut déterminer P_{50} (W) = 50 x L.serpentin (m) x α émission (W/m.K) calculé en fonction du tube, du pas de pose et de la composition du plancher.

Le coefficient n vaut 1,00 ou 1,08. En fonction de P max (W), Eff (-) et ΔT_0 on peut déterminer P_{50} (W) :

$$P_{50} (W) = P \max (\Delta T_0 / 50 \times (- \text{Eff} / \ln(1 - \text{Eff}))^n$$

Pour Eff = 0,25 le rapport (- Eff/ln(1-Eff)) = 0,87

Exemple de calcul pour un local

H du local = 40 W/K, $\theta_a = 20$ °C, $\theta_{eb} = -7$ °C et Majoration P = 20 %

$P \max (W) = 40 \times (20 + 7) \times 1,2 = 1296$ W
Avec $\theta_d = 60$ °C et Eff = 0,25

$\Delta T_0 = 60 - 20 = 40$ K et $C = \Delta T_0 \times \text{Eff} = 40 \times 0,25 = 10$ K, le ΔT de fonctionnement est égal à :

$$\Delta T = \Delta T_0 (- \text{Eff} / \ln(1 - \text{Eff})) = 40 \times 0,87 = 34,8$$
 K

Dans un catalogue de radiateurs déterminés selon la norme EN 442, on peut sélectionner un radiateur panneau de 0,6 m de haut avec une puissance P_{50} de 120 W/élément de 0,1 m de longueur et un coefficient n = 1,30.

On calcule alors la puissance P ΔT (W) d'un élément de radiateur = 120 $(34,8/50)^{1,3} = 74,8$ W

Le nombre d'éléments du radiateur à mettre en place est alors égal à :

$$\text{Nb éléments} = \text{Arrondi} (P \max / P \text{ élément} ; 0) = 17 \text{ éléments}$$

La puissance P_{50} installée est égale au Nb éléments x P_{50} éléments = 17 x 120 = 2040 W. La longueur du radiateur est de 1,7 m.

Une fois le radiateur déterminé, on peut calculer le débit d'eau chaude (avec la chaleur massique de l'eau ceau = 1163 Wh/m³.K) à fournir à l'émetteur :

$$Q (m^3/h) = P \max / (\text{ceau} \times C) = 1296 / (1163 \times 10) = 0,111 \text{ m}^3/h$$

Puis le diamètre intérieur de raccordement peut être calculé en utilisant la formule de la vitesse silencieuse proposée par Roger CADIERGUES au COSTIC

$$v \text{ (m/s)} = (\phi_i / 50)^{0,5}$$

(le diamètre intérieur est exprimé en mm)

Cette formule permet de limiter la vitesse de l'eau et le bruit de circulation, la

Dimensionnement dans les conditions nominales

Données	Unité	Formule	Valeur
Coef H du local ou logement	W/K		40
θ_{ambiante} Chauffage	°C		20
$\theta_{\text{extérieure de base}}$	°C		-7
Majoration de puissance	%		20%
θ_d départ alimentation du radiateur	°C		60
Eff. Efficacité Chauffage Chute / ΔT_0	-		0.25
P50 par élément de radiateur	W à ΔT 50		120
Coef n d'émission	-		1.30
Calculs			
P max Chauffage (conditions de base)	W	$H \times (\theta_{\text{ambiante}} - \theta_{\text{ext base}}) \times (1 + \text{maj P})$	1296
$\Delta T_0 = \theta_{\text{départ}} - \theta_{\text{ambiante}}$	K	$\theta_{\text{départ}} - \theta_{\text{ambiante}}$	40.0
C = Chute = $\theta_{\text{départ}} - \theta_{\text{retour}}$	K	$\Delta T_0 \times \text{Eff}$	10.0
$\Delta T = \theta_{\text{émetteur}} - \theta_{\text{ambiante}}$	K	$\Delta T_0 \times - \text{Eff} / \ln(1 - \text{Eff})$	34.8
P à ΔT fonctionnement	W à ΔT	$P_{50} / \text{Elément} \times (\Delta T / 50)^n$	74.8
Nombre d'éléments du radiateur	-	Arrondi (P max / P ΔT / Élément; 0)	17
P50 réelle du radiateur	W à ΔT 50	$P_{50} / \text{Elément} \times \text{Nb Élément}$	2040
Débit Chauffage radiateur	m ³ /h	$P \max / (1163 \times \text{Chute})$	0.111
Diamètre intérieur mini circuit chauffage	mm	$\max (10; \text{arrondi}((22.9 \text{ Débit}^{0.4}); 1))$	10.0
θ retour du radiateur	°C	$\theta_{\text{départ}} - \text{Chute}$	50.0

perte de charge ($\approx 0,2$ kPa/m) et permet une purge/vidange efficace du réseau.

De cette formule, nous pouvons en tirer celle du diamètre silencieux, à savoir :

$$\phi_i (\text{mm}) = \max (10 ; 22,9 \times Q^{0,4})$$

avec Q le débit d'eau en m³/h et une limite inférieure de 10 mm conforme au DTU chauffage.

La méthode de dimensionnement avec une valeur de température de départ θ_d (°C) (qui part du générateur) et une efficacité de l'installation de chauffage est novatrice mais permet de répondre d'une façon simple à la demande puis de mieux comprendre le comportement du chauffage.

Le tableau en haut de page résume les différentes données, formules et résultats.

Le comportement et le fonctionnement du système de chauffage

L'installation est toujours dimensionnée pour les conditions extrêmes, mais dans la pratique elle fonctionne avec une charge réduite, voire très réduite.

Le besoin de chauffage dépend du vrai niveau d'isolation/ventilation du local, de l'écart de température entre l'ambiance et l'extérieur, des apports gratuits récupérés en fonction de l'inertie thermique et de la gestion du chauffage.

Il faut donc déterminer le point d'équilibre en fonction du bilan thermique : la perte de chaleur du local déduction faite des apports gratuits qui doit être compensée par

l'émission de chaleur du corps de chauffe alimenté en eau chaude à la bonne température et au bon débit.

On doit donc résoudre un système de 3 équations :

$$P (W) = H (\theta_a - \theta_e) - \text{AGR} = P_{50} (\Delta T / 50)^n = Q \times \text{ceau} \times C$$

(AGR représente les apports gratuits)

Cela semble simple, mais le coefficient d'émission n en complexifie la résolution.

Les données :

Symbole	Désignation	Unité
P	Puissance émise	W
P_{50}	Puissance nominale à ΔT 50	W
θ_a	Température ambiante	°C
θ_d	Température de départ	°C
θ_r	Température de retour	°C
ΔT_0	Delta T entrée émetteur	K
ΔT	Delta T moyen émetteur-ambiance	K
C	Chute dans l'émetteur	K
n	Coefficient d'émission	-
Q	Débit d'eau émetteur	m ³ /h
eff	Efficacité émetteur	-
A	Coefficient d'échange	-

Les formules de base :

$$P = P_{50} \left(\frac{\Delta T}{50} \right)^n = 1.163 \times C \times Q$$

$$\text{Eff} = \frac{C}{\Delta T_0} = \frac{(\theta_d - \theta_r)}{(\theta_d - \theta_a)}$$

$$\Delta T = \frac{\theta_d - \theta_r}{\ln \left(\frac{\theta_d - \theta_a}{\theta_r - \theta_a} \right)} = \frac{C}{\ln \frac{\Delta T_0}{\Delta T_0 - C}} = \Delta T_0 \times \frac{-\text{Eff}}{\ln(1 - \text{Eff})}$$

$$A = \left(\frac{\Delta T_0}{50} \right) \times \left(\frac{P_{50}}{P} \right)^{\frac{1}{n}} = - \frac{\ln(1 - \text{Eff})}{\text{Eff}} = \frac{\Delta T_0}{\Delta T}$$



Dans la pratique, en fonction de la puissance chauffage P (W) demandée, on peut déterminer le régime d'eau en température et en débit selon 3 modes de fonctionnement :

- **A efficacité constante**, on souhaite conserver l'efficacité à 0,25 par exemple, alors on doit déterminer la température d'alimentation puis le débit d'eau.

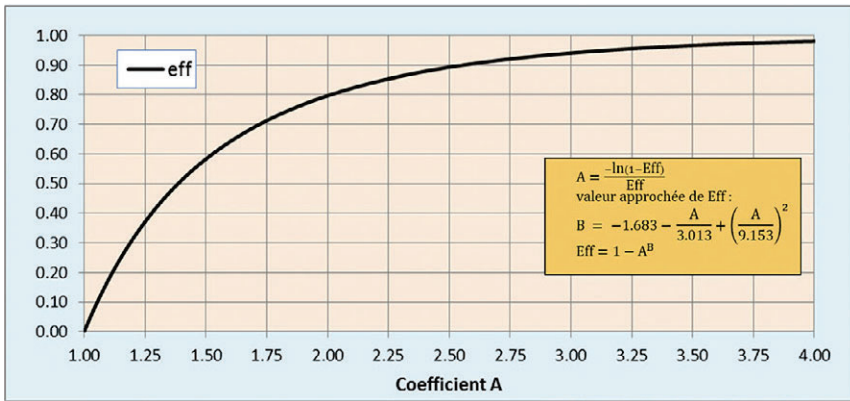
- **A débit d'eau constant**, on souhaite conserver un débit d'eau chaude constant, alors il faut déterminer la température d'alimentation et l'efficacité obtenue.

- **A température d'alimentation donnée** (constante ou modulée en fonction de la température extérieure par exemple), alors il faut déterminer le débit d'eau chaude nécessaire et l'efficacité obtenue qui va tendre vers 1 pour une faible

charge et conduire à une installation difficile à régler avec un faible débit d'eau et une perte de chaleur en ligne.

Le tableau ci-dessous donne la procédure et les différentes formules de calcul à utiliser pour répondre à la demande et dans l'exemple traité les résultats obtenus pour une puissance chauffage demandée de 1200, 900, 600 et 300 W.

Fonctionnement à Efficacité Constante						
Données	Unité	Formule	Valeur	Valeur	Valeur	Valeur
θambiante °C	°C		20	20	20	20
P Ch du moment W	W		1200	900	600	300
Coef n d'émission de l'émetteur	-		1.30	1.30	1.30	1.30
P50 W	W		2040	2040	2040	2040
Eff. Efficacité nominale souhaitée	-		0.25	0.25	0.25	0.25
Calculs						
ΔT K	K	$50 \times (P \text{ Ch}/P50)^{1/n}$	33.2	26.6	19.5	11.4
ΔTo K	K	$\Delta T \times \ln(1 - \text{Eff}) / -\text{Eff}$	38.3	30.7	22.4	13.2
θd rad °C	°C	$\Delta T_o + \theta_a$	58.3	50.7	42.4	33.2
C K	K	$\Delta T_o \times \text{Eff}$	9.6	7.7	5.6	3.3
θr rad °C	°C	$\theta_d - C$	48.7	43.0	36.8	29.9
Q rad m3/h	m3/h	$P \text{ Ch} / (1163 \times C)$	0.108	0.101	0.092	0.078
Fonctionnement à débit constant						
Données	Unité	Formule	Valeur	Valeur	Valeur	Valeur
θambiante °C	°C		20	20	20	20
P Ch du moment W	W		1200	900	600	300
Coef n d'émission émetteur	-		1.30	1.30	1.30	1.30
P50 W	W		2040	2040	2040	2040
Q d'eau dans le radiateur	m3/h		0.120	0.120	0.120	0.120
Calculs						
ΔT K	K	$50 \times (P \text{ Ch}/P50)^{1/n}$	33.2	26.6	19.5	11.4
C K	K	$P \text{ Ch} / (1163 \times Q \text{ rad})$	8.6	6.4	4.3	2.1
a =Exp (C/ΔT)	-	$\text{Exp}(C/\Delta T)$	1.30	1.27	1.25	1.21
ΔTo K	-	$a \times C / (a - 1)$	37.7	30.0	21.7	12.6
Eff obtenue	-	$C / \Delta T_o$	0.23	0.21	0.20	0.17
θd rad °C	°C	$\theta_a + \Delta T_o$	57.7	50.0	41.7	32.6
θr rad °C	°C	$\theta_d - C$	49.1	43.5	37.4	30.4
Fonctionnement à θd constante						
Données	Unité	Formule	Valeur	Valeur	Valeur	Valeur
θd entrée émetteur °C	°C		60	60	60	60
θambiante °C	°C		20	20	20	20
P Ch du moment W	W		1200	900	600	300
Coef n d'émission émetteur	-		1.30	1.30	1.30	1.30
P50 W	W		2040	2040	2040	2040
Calculs						
ΔTo K	K	$\theta_d \text{ prim} - \theta_a$	40.0	40.0	40.0	40.0
Coef A	-	$\Delta T_o / 50 \times (P50 / P \text{ Ch})^{1/n}$	1.20	1.50	2.05	3.50
Coef B	-	$-1.683 - A/3.013 + (A/9.153)^2$	-2.07	-2.15	-2.31	-2.70
Eff estimée	-	$\text{Si}(A^A > 1; 1; 1 - A^A)$	0.32	0.58	0.81	0.97
C K	K	$\Delta T_o \times \text{eff}$	12.7	23.3	32.4	38.6
θr rad °C	°C	$\theta_d \text{ prim} - C$	47.3	36.7	27.6	21.4
Q rad m3/h	m3/h	$P \text{ Ch} / (1163 \times C)$	0.081	0.033	0.016	0.007
ΔT K	K	$50 \times (P \text{ Ch}/P50)^{1/n}$	33.2	26.6	19.5	11.4



Cela impacte fortement l'efficacité de l'installation : pertes de distribution plus ou moins importantes, consommation d'énergie du circulateur, équilibrage, rendement du système de génération en fonction du niveau de température de départ/retour et de la charge.

On peut également changer les paramètres (besoin chauffage, P_{50} , coef n, température et débit d'eau chaude, température ambiante...) et voir comment réagit le système.

Pour ce dernier cas, le calcul est itératif, mais on peut utiliser une formule empirique qui donne la valeur de l'efficacité en fonction du rapport $A = \Delta T_o / \Delta T$

En fonction du mode de gestion et de la charge thermique, on obtient donc des résultats très différents en température et en débit :

		P chauffage (W)			
		1200	900	600	300
A efficacité constante	θ départ °C	58.3	50.7	42.4	33.2
	θ retour °C	48.7	43.0	36.8	29.9
	Débit d'eau m ³ /h	0.108	0.101	0.092	0.078
A débit constant	θ départ °C	57.7	50.0	41.7	32.6
	θ retour °C	49.1	43.5	37.4	30.4
	Débit d'eau m ³ /h	0.120	0.120	0.120	0.120
A température constante	θ départ °C	60.0	60.0	60.0	60.0
	θ retour °C	47.3	36.7	27.6	21.4
	Débit d'eau m ³ /h	0.081	0.033	0.016	0.007

Bien d'autres éléments de la performance énergétique vont découler du bon dimensionnement et du comportement du système d'émission de chaleur et en particulier la génération de chaleur.

Nous y reviendrons lors d'une prochaine fiche technique AICVF Thermo-Hydraulique Chauffage qui prendra en compte l'équilibrage et la gestion du chauffage, les pertes de distribution et l'évolution de la consommation d'énergie de la génération en fonction du besoin de chauffage ●

