

CHAUFFAGE DANS LES BÂTIMENTS COLLECTIFS ET TERTIAIRES

GUIDE D'APPLICATION
VERSION UNITÉS SI

be
think
innovate

GRUNDFOS 

PRÉFACE

Au cours de l'histoire de l'humanité, le feu a joué un rôle essentiel en tant que source de chaleur et de confort, il a donc permis le développement et l'évolution de l'espèce humaine.

Aujourd'hui, des siècles plus tard, la capacité à trouver un abri et à rester au chaud constitue toujours l'un des besoins fondamentaux des êtres humains et l'objet principal des bâtiments modernes partout dans le monde. Mais beaucoup de choses ont changé depuis les premières tentatives de maîtrise du feu, et nous avons désormais conscience de l'importance de rester au chaud et au sec, mais également d'assurer un climat intérieur optimal favorisant la productivité et la réduction de la consommation d'énergie.

Suite à la prise de conscience du changement climatique et de la raréfaction des ressources en énergie ces dernières années, des restrictions relatives à la consommation d'énergie ont été adoptées un peu partout dans le monde. Cependant, alors que la consommation d'énergie des bâtiments représente encore près de 40 % de la consommation totale de la société, les possibilités d'amélioration restent importantes. La hausse des prix de

l'énergie et le souci permanent de l'impact sur l'environnement orientent le développement vers un meilleur rendement énergétique et de nouvelles solutions. Néanmoins, le secteur de la construction étant souvent caractérisé par son conservatisme et des investissements à court terme, les solutions permettant d'améliorer le confort et la productivité sont parfois négligées et réfutées par le biais d'arguments tels que « on ne change pas quelque chose qui marche » et « c'est trop cher et inutile ». Mais la solution n'est peut-être pas si compliquée, et un meilleur environnement intérieur est avantageux à long terme car il permet d'augmenter la productivité et la satisfaction des employés.

Ce guide d'application s'attache à définir et à préciser l'objet de l'application chauffage et la raison pour laquelle elle doit être prise au sérieux, ainsi qu'à souligner la nécessité des installations à haut rendement énergétique. Il ne s'agit pas d'un guide exhaustif, et il ne vient en aucun cas se substituer aux nombreuses normes applicables dans ce domaine, mais nous espérons qu'il servira de source d'inspiration et qu'il pourra remettre en question la manière dont le chauffage est généralement abordé.

POURQUOI AVONS-NOUS BESOIN DE CHAUFFAGE ?	4
Confort thermique.....	4
Performances au travail.....	8
CHAUFFAGE PERFORMANT	10
Installations aérauliques et installations hydrauliques	10
Chauffage à basse température.....	15
INSTALLATIONS DE CHAUFFAGE	18
Production de chaleur	18
Distribution de chaleur et régulation	27
Configurations de tuyauterie.....	36
Équilibrage de l'installation	39
Consommateurs de chaleur.....	46

Martin Heine Kristensen

*Ingénieur d'application,
Grundfos Bâtiments
collectifs et tertiaires*



Jens Nørgaard

*Responsable d'application,
Grundfos Bâtiments
collectifs et tertiaires*



POURQUOI AVONS-NOUS BESOIN DE CHAUFFAGE ?

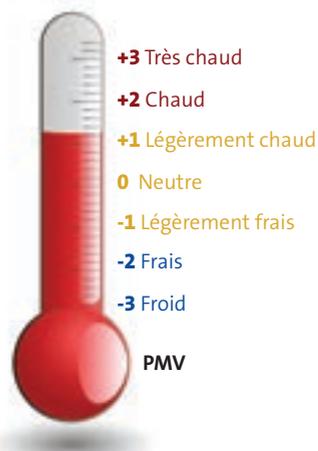
La principale raison de chauffer les bâtiments est de nous abriter d'un environnement froid et d'assurer un niveau de confort thermique adéquat. Mais comment définir le confort thermique, et pourquoi est-ce important ? Ces questions seront définies et développées dans la section suivante.

Confort thermique

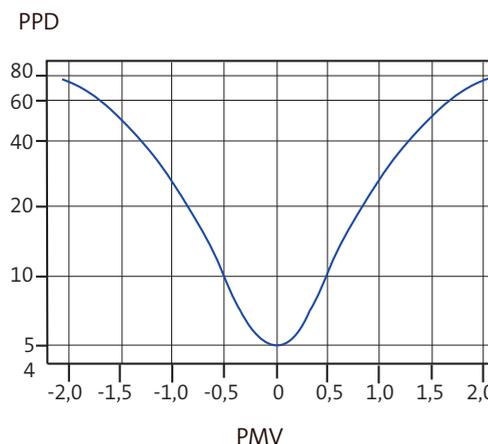
Le confort est un état ou une perception subjective de l'environnement thermique. Cela concerne les températures ambiantes et les sources de chaleur en lien avec la sensation de l'être humain.

Nous chauffons les bâtiments pour nous sentir à l'aise, ce qui a des conséquences pour notre bien-être, notre productivité et notre capacité d'apprentissage, comme nous le verrons plus loin. Cela signifie que la plage de température devrait être basée sur le travail réalisé : de nombreuses études montrent que la productivité est meilleure dans des bureaux où la température de l'air est légèrement inférieure à ce que la plupart des gens considèrent comme une température « neutre ». Si l'on s'écarte de cette valeur optimale, vers le haut ou vers le bas, la productivité chute rapidement et le pourcentage de personnes insatisfaites augmente. Cependant, le confort thermique est très personnel, et il n'est jamais possible d'obtenir un taux de satisfaction de 100 %. D'après la norme internationale ISO 7730, qui constitue le socle des normes européennes ASHRAE et EN, le pourcentage de personnes insatisfaites atteint au minimum 5 %, c'est-à-dire qu'il y aura toujours des personnes insatisfaites de l'environnement intérieur, quel que soit la qualité de sa régulation.

Pour déterminer le confort thermique, on



Échelle de sensation thermique pour le vote moyen prévisible (PMV)



Le pourcentage prévisible d'insatisfaits (PPD) en fonction du vote moyen prévisible (PMV)

a souvent recours au vote moyen prévisible (PMV), un outil mesurant le bien-être des êtres humains dans un environnement thermique donné. Il s'agit d'une projection de la valeur moyenne des votes d'un groupe de gens sur une échelle de sensation thermique de 7 niveaux. L'environnement thermique optimal correspond à un indice PMV de 0 (perception neutre). À partir de l'indice PMV, il est possible de prédire le niveau général d'insatisfaction des personnes en calculant le pourcentage prévisible d'insatisfaits (PPD). Le graphique illustre la relation entre les indices PMV et PPD.

La norme ISO 7730 divise le niveau de confort en trois catégories : A, B et C, ou I, II et III. La catégorie A est la meilleure, avec moins de 6 % d'insatisfaits, et présente la productivité la plus élevée. Certaines normes, comme la norme européenne EN 15251, comportent également un quatrième niveau de confort, D ou IV.

Les indices PMV et PPD expriment l'inconfort dû à la chaleur ou au froid pour l'ensemble du corps, mais l'inconfort thermique peut également être

UTILISATION DES APPAREILS

Catégorie de confort	Indice PPD (pourcentage prévisible d'insatisfaits)	Indice PMV (vote moyen prévisible)	Applicabilité
A (I)	< 6 %	-0,2 < PMV < +0,2	Espaces occupés par des personnes sensibles et fragiles, comme les personnes handicapées, les malades, les jeunes enfants, les personnes âgées, etc.
B (II)	< 10 %	-0,5 < PMV < +0,5	Conditions normales pour les bâtiments neufs et les rénovations
C (III)	< 15 %	-0,7 < PMV < +0,7	Conditions de base pour les bâtiments existants
D (IV)	> 15 %	PMV < -0,7 ou +0,7 < PMV	Acceptable uniquement pour de très courtes périodes de l'année

Catégories de confort décrivant l'environnement thermique conformément aux normes internationales ISO 7730 et EN 15251.

causé par le refroidissement ou le réchauffement indésirable d'une partie du corps. C'est ce que l'on appelle l'inconfort thermique local. Les courants d'air sont la principale source d'inconfort local, mais il faut également compter sur les gradients verticaux de température trop élevés, les sols trop chauds ou trop froids ou une asymétrie dans le rayonnement thermique des surfaces. L'inconfort thermique local représente un problème surtout pour les personnes dont le niveau d'activité est faible (sédentaires), car la sensibilité à la chaleur augmente avec la baisse du niveau d'activité. Pour maintenir une certaine catégorie de confort, par ex. la catégorie B avec moins de 10 % de personnes insatisfaites, on dispose d'un ensemble de critères pour la conception des installations de chauffage (et de climatisation). Ces conditions sont définies dans des normes ou fournies par le propriétaire du bâtiment. En s'appuyant sur les indices PMV et PPD de confort thermique au lieu du simple critère de la température de l'air pour la conception des installations CVC, on tient compte de l'incidence des vitesses de l'air afin d'assurer un meilleur



Bâtiments collectifs et tertiaires en cours de construction

Exemple : Paramètres de dimensionnement fondés sur les classes de confort thermique

Un propriétaire souhaite que son nouveau bâtiment administratif présente un environnement intérieur de catégorie de confort A, ce qui correspond à moins de 6 % d'employés insatisfaits et à une productivité élevée tout en réalisant des économies. Les ingénieurs CVC s'appuient sur la norme internationale ISO 7730 pour traduire cette demande en un ensemble de critères de dimensionnement applicables à l'installation de chauffage.

Température de service :	22,0 +/- 1,0 (hiver) et 24,5 +/- 1,0 (été)
Vitesse d'air moyenne maximale :	0,10 m/s (hiver) et 0,12 m/s (été)
Différence verticale de température de l'air :	< 2 °C
Plage de température du sol :	19-29 °C
Asymétrie de rayonnement causée par	
• les plafonds chauds/froids :	< 5 °C / < 14 °C
• les murs chauds/froids :	< 23 °C / < 10 °C

Avec ces critères, il est possible de concevoir une bonne installation de chauffage en mesure d'assurer le niveau de confort recherché.



Un bon climat intérieur permet d'améliorer le rendement au travail, le niveau de satisfaction et la santé.

confort général et local.

Performances au travail

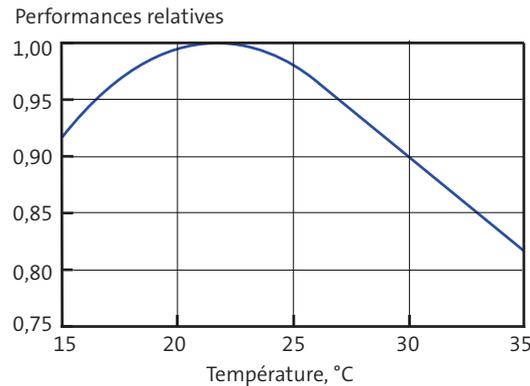
Comme nous l'avons vu plus haut, l'environnement thermique a une forte incidence sur les performances. Dans une étude publiée dans le guide n° 6 de la REHVA, Wyon et Wargocki (2006) ont démontré que :

- L'inconfort thermique gêne la concentration et suscite des plaintes qui augmentent les coûts de maintenance
- La chaleur réduit les capacités mentales et aggrave les symptômes du syndrome du bâtiment malsain (SBM)
- Une atmosphère froide abaisse la température des doigts et a des conséquences négatives pour la dextérité mentale
- Les changements brutaux de température ont le même effet sur le travail de bureau que les températures légèrement trop élevées, tandis que les changements plus lents génèrent simplement de l'inconfort
- L'inconfort thermique peut réduire les performances de 5 à 15 %

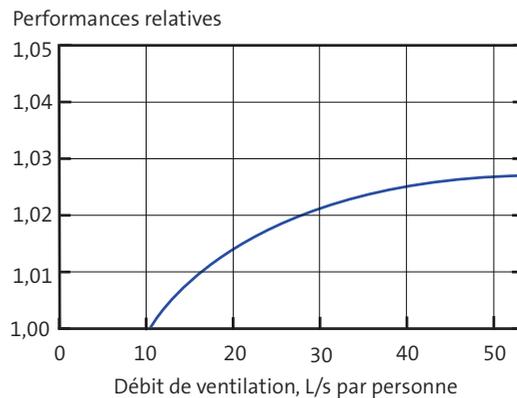
Les figures de droite montrent les effets de la température de la pièce sur les performances au travail.

Néanmoins, les performances dépendent beaucoup de la qualité de l'air et du taux de renouvellement d'air. Ce lien est illustré par la figure au-dessous.

Ces figures montrent bien qu'une augmentation du débit de ventilation peut augmenter les performances, mais que le gain devient nul au-delà d'un certain seuil. Le confort thermique



Performances relatives en fonction de la température (guide REHVA n° 6). La courbe est basée sur les mesures de performances au travail tirées de 24 études. Dans ces études, la température de travail optimale est de 22 °C. Elle indique qu'une augmentation ou une baisse de la température de 1 °C entraîne une baisse de performance de 1 %.



Performances relatives en fonction du débit de ventilation (Guide REHVA n° 6). Incidence de l'augmentation du débit de ventilation par rapport à un débit de référence de 10 L/s par personne. Dans ce cas, il est possible d'augmenter les performances d'environ 3 % en augmentant le débit de ventilation.

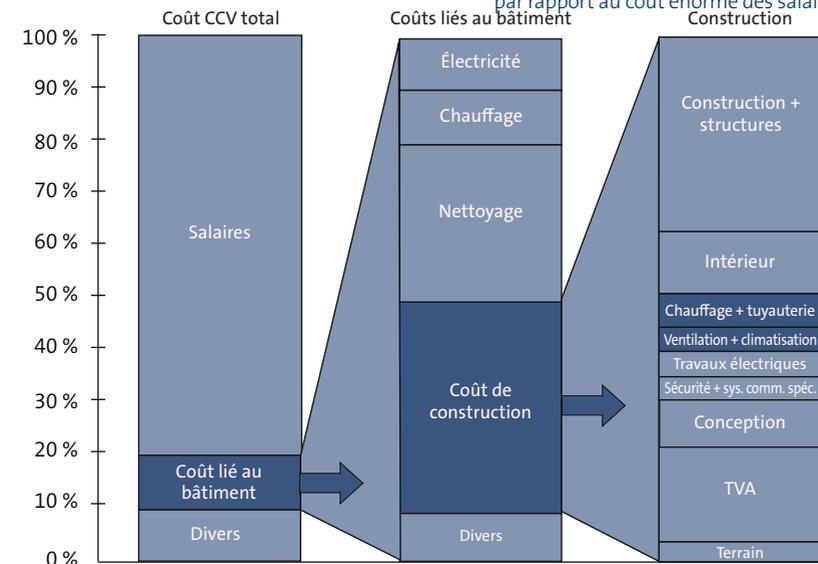
et la qualité de l'air intérieur sont étroitement liés et il est difficile de les séparer.

« Et l'aspect financier ? Ce n'est pas trop cher d'assurer un bon environnement intérieur ? »

Il n'y a pas de réponse simple à cette question, il vaut mieux aborder le problème sous un autre angle. Les salaires constituent encore la majeure partie du coût total du cycle de vie du bâtiment, il est donc possible de réaliser d'énormes économies en créant un environnement intérieur optimal, car cela permet d'augmenter les performances et le rendement au travail. Les investissements dans les installations CVC représentent environ 0,4 % du CCV total, tandis que les salaires en représentent environ 80 % (voir figure ci-dessous). Dans ce cas, le moindre investissement

supplémentaire, même minime, dans les technologies d'amélioration de la qualité de l'environnement intérieur (QEI) est le bienvenu. Imaginez si 10 % d'investissement supplémentaires dans les installations CVC pouvaient augmenter la productivité du personnel de seulement 2 %.

Au vu de ces conclusions, il est évident que le confort thermique joue un rôle crucial dans la mise en place d'un bon environnement de travail, et que les employeurs et les propriétaires de bâtiments devraient prendre un soin particulier à définir les caractéristiques des installations CVC des bâtiments, car elles ont des conséquences importantes pour la QEI des bâtiments en question. Une réduction même marginale de la QEI entraîne une importante baisse de la productivité, car les investissements dans le bâtiment et dans les services et équipements associés sont faibles par rapport au coût énorme des salaires.



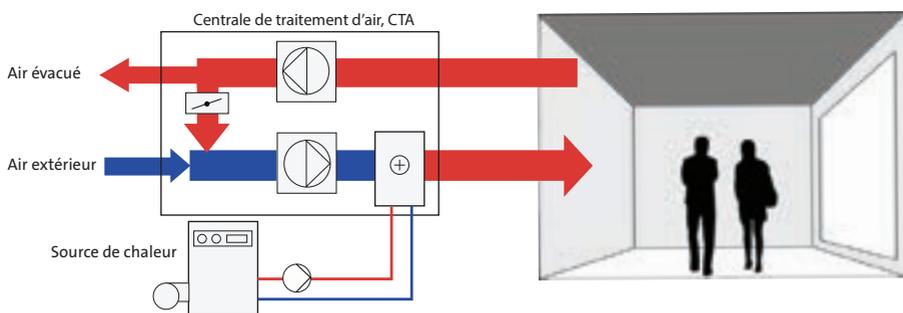
Importance relative du coût des salaires pour un bâtiment administratif classique (guide REHVA n° 6).

CHAUFFAGE PERFORMANT

Solutions de chauffage haut rendement, haut niveau de confort et environnement intérieur d'exception sont trois exigences devenues toujours plus forte ; il devient donc nécessaire d'adopter une approche plus large du bâtiment et de la manière dont il est chauffé. Un point très important à traiter est le choix du type d'installation : aéraulique ou hydraulique. Ce choix aura des conséquences à long terme sur le coût d'exploitation du bâtiment.

Installations aérauliques et installations hydrauliques

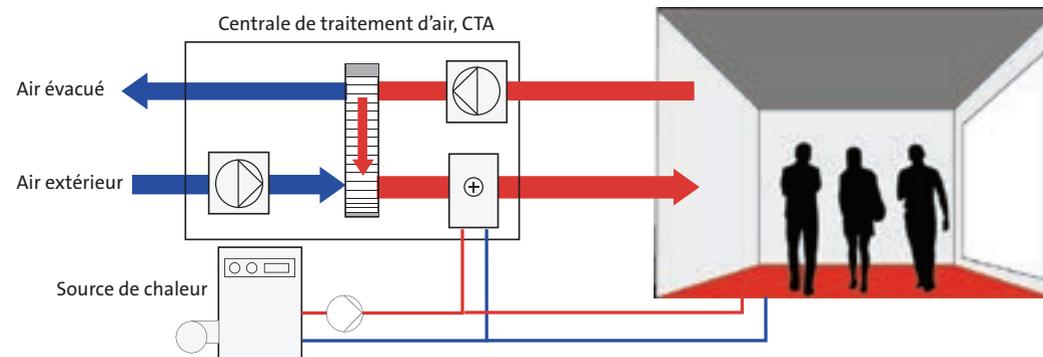
À un moment donné, dans l'installation de chauffage, l'énergie sous forme de chaleur doit changer de vecteur pour se mélanger avec l'air de la pièce. L'échange de chaleur entre l'eau et l'air n'a normalement lieu qu'une fois, quel que soit le type d'installation choisi. Cependant, alors que ces mécanismes d'échange de chaleur ont lieu dans les serpentins de chauffage de la centrale de traitement d'air (CTA), par exemple, pour une installation aéraulique, ils se font au dernier moment dans les installations hydrauliques. Dans ce cas, l'échange de chaleur a généralement lieu dans la pièce même où l'on a besoin de chauffage, c'est-à-dire que des radiateurs libèrent l'énergie dans l'air de la pièce. La principale différence entre les deux types d'installation est la manière dont l'énergie thermique est transportée et libérée dans l'air de la pièce, par le système de ventilation ou par un système hydraulique spécifique.



Installation à air pulsé utilisée pour le chauffage et la ventilation. De gros volumes d'air sont nécessaires. Afin de réduire la quantité d'énergie nécessaire pour chauffer de gros volumes d'air, on installe un clapet de recirculation. Il permet de réinjecter l'air vicié.

Les installations à air pulsé sont des systèmes 100 % aérauliques dans lesquels de gros volumes d'air sont utilisés pour chauffer et climatiser l'espace. Le volume d'air dépasse largement les besoins de ventilation de la pièce, car l'air n'est pas uniquement utilisé à des fins de ventilation, mais également en tant que vecteur principal de chauffage. Afin de réduire le volume d'air extérieur froid à chauffer, on met en place une conduite de recirculation. Cela signifie qu'une grande quantité d'air pollué est réinjecté dans l'espace. Si le volume d'air était basé uniquement sur les besoins en matière de ventilation, il serait considérablement plus faible.

Afin de réduire le volume d'air nécessaire, on peut avoir recours au chauffage hydraulique dans le bâtiment. Les installations hydrauliques fonctionnent très bien en association avec des systèmes dédiés d'alimentation en air extérieur. Dans ce type de situation, la centrale de traitement d'air est utilisée uniquement pour la ventilation et non pour le chauffage, qui est assuré par l'installation hydraulique. Dans ce cas, l'espace est alimenté par de l'air aux conditions dites isothermes, c'est-à-dire que la température d'entrée et la température de la pièce sont quasiment égales, ou avec quelques degrés d'écart. Quand elles fonctionnent en parallèle, les installations hydraulique et de ventilation améliorent la QEI et réduisent la consommation d'énergie liée à la production et à la distribution de chaleur.



Système dédié d'alimentation en air extérieur utilisé pour la ventilation. Le volume d'air est strictement adapté aux besoins en matière de qualité d'air intérieur. On a ajouté ici un échangeur de chaleur rotatif. Cet échangeur peut récupérer jusqu'à près de 90 % de l'énergie thermique de l'air vicié. Un échangeur de chaleur rotatif est rentabilisé en quelques semaines ou quelques mois. En cas de besoin, le plancher chauffant est activé pour augmenter la capacité de chauffage.

Coût de distribution de l'énergie

Le débat sur l'intérêt de choisir une installation aéraulique ou hydraulique est ancien, mais il n'en est pas moins important. Les installations aérauliques représentent cependant encore la majorité des installations de chauffage dans le monde ; comment cela s'explique-t-il ?

« Les installations aérauliques sont-elles vraiment la meilleure solution, avec le rendement énergétique le plus élevé ? »

La réponse est non ! On le voit bien en analysant la capacité thermique des deux milieux, l'eau et l'air. La principale différence entre ces deux milieux concerne la capacité thermique et la densité. Alors que l'air présente une capacité thermique massique (c_p) d'environ 1,0 kJ/kg, l'eau transporte environ 420 % d'énergie en plus par kilo en raison de sa capacité thermique massique d'environ 4,2 kJ/kg. De plus, la densité de l'eau est environ 800 fois supérieure à celle de l'air, soit de 1 000 kg/m³ contre 1,2 kg/m³ pour l'air. On obtient ainsi une capacité thermique volumique (capacité thermique massique x densité) supérieure de près de 3 500 % à celle de l'air, c'est-à-dire que l'eau transporte 3 500 fois plus d'énergie par m³ que l'air. Il est donc évident qu'il faut beaucoup plus d'espace dans les faux plafonds, etc. pour les gaines nécessaires au transport de la chaleur par l'air. Par exemple, une conduite hydraulique de 32 mm de diamètre transporte la même quantité d'énergie qu'une gaine cylindrique de 500 mm de diamètre. Ce seul fait devrait amener les concepteurs à réfléchir à deux fois avant de choisir l'air comme vecteur d'énergie. De plus, le coût du transport de l'énergie est bien plus élevé dans les installations aérauliques, comme souligné dans l'exemple.

Exemple : Impact d'un faible différentiel delta T (ΔT) 1

On a besoin de transporter 50 kW de chaleur via une gaine/conduite avec une différence de température de 10 °C. Quelle est la quantité d'énergie nécessaire pour les distribuer par air et par eau, respectivement ?

Consommation d'énergie avec de l'air :

Débit volumique, $Q_{\text{air}} = 50 \text{ kW} / (1,2 \text{ kg/m}^3 \times 1,0 \text{ kJ/kg K} \times 10 \text{ K}) = 4,2 \text{ m}^3/\text{s} = 15\,000 \text{ m}^3/\text{h}$

Pression de ventilation, $\Delta p_{\text{ventilateur}} = 1,5 \text{ kPa} = 1,5 \text{ kJ/m}^3$

Rendement de ventilation (global), $\eta_{\text{ventilateur}} = 0,55$

Consommation électrique des ventilateurs, $P_{\text{ventilateur}} = (4,2 \text{ m}^3/\text{s} \times 1,5 \text{ kJ/m}^3) / 0,55 = 11,4 \text{ kW}$

Consommation d'énergie avec de l'eau :

Débit volumique, $Q_{\text{eau}} = 50 \text{ kW} / (1\,000,0 \text{ kg/m}^3 \times 4,2 \text{ kJ/kg K} \times 10 \text{ K}) = 0,001 \text{ m}^3/\text{s} = 4,3 \text{ m}^3/\text{h}$

Pression de pompage, $\Delta p_{\text{pompe}} = 200 \text{ kPa} = 200 \text{ kJ/m}^3$

Rendement des pompes (global), $\eta_{\text{pompe}} = 0,55$

Consommation électrique des pompes, $P_{\text{pompe}} = (0,001 \text{ m}^3/\text{s} \times 200 \text{ kJ/m}^3) / 0,55 = 0,4 \text{ kW}$

Écart relatif

$(11,4 - 0,4) / 0,4 \times 100 \% = 2\,750 \%$

En dehors du fait que les gaines aérauliques occupent beaucoup plus de place, l'exemple montre qu'à conditions de différence de température et de rendement égales, il est environ 27 fois plus cher de transporter la chaleur par le biais d'un système de ventilation plutôt que par celui d'un circuit hydraulique.

Cependant, dans les applications CVC, la différence de température est souvent beaucoup plus élevée dans les installations hydrauliques que dans les installations aérauliques : il est ainsi normal d'obtenir des différences de température allant jusqu'à 40 ou 45 °C. En tenant compte de ces différences de température, l'écart relatif entre les installations hydrauliques et aérauliques dépasse les 10 000 %, les installations hydrauliques étant 100 fois plus performantes en matière de coûts de distribution de l'énergie.

Qualité de l'environnement intérieur

« Et pour l'environnement intérieur, des radiateurs hydrauliques ne peuvent certainement pas offrir le même niveau de confort et de qualité environnementale qu'un système de ventilation aéraulique ? »

Une fois encore, la réponse est très claire : bien sûr que si ! L'emploi d'installations hydrauliques permet souvent un meilleur confort thermique et acoustique, en particulier parce qu'il ne fait pas intervenir de gros volumes d'air. Le système de ventilation se limite à apporter suffisamment d'air pour assurer une qualité d'air intérieur adéquate, et l'air fourni n'est pas utilisé pour le chauffage, ce qui permet de réduire le taux de renouvellement d'air. Cette situation présente donc plusieurs avantages.

Tout d'abord, la réduction du débit de ventilation entraîne une réduction de la vitesse de l'air dans la pièce. C'est l'un des plus gros avantages du recours aux installations hydrauliques, car le confort thermique dépend beaucoup de la vitesse de l'air qui peut donner lieu à des courants d'air (refroidissement local indésirable de certaines parties du corps à la suite d'un déplacement d'air). Le tableau ci-contre donne un exemple de vitesse d'air maximale autorisée dans une zone occupée pour une activité sédentaire en fonction des différentes catégories de confort.

Des débits de ventilation plus faibles, et donc des vitesses d'air plus faibles, favorisent un meilleur environnement thermique. Comme le montre cet exemple, en divisant par deux la vitesse moyenne maximale de l'air, soit de 0,21 à 0,10 m/s, il est possible de faire passer le confort thermique local lié aux courants d'air de la catégorie C à la catégorie A. La question de la vitesse de l'air mise à part,

Activité	Catégorie de confort	Vitesse d'air moyenne max. (saison de chauffe)
Activité sédentaire, 1,2 MET (bureau, logement, école, etc.)	A	0,10 m/s
	B	0,16 m/s
	C	0,21 m/s

Exemple de la vitesse d'air moyenne maximale autorisée pour les activités sédentaires. Ces valeurs sont basées sur une intensité de turbulence de 40 % et une température d'air à l'entrée égale à la température de service de 22 °C.



Les diffuseurs d'air fournissant des débits d'air importants contribuent à ce qui est souvent considéré comme un environnement bruyant.

il est possible de fournir bien plus de chaleur à une pièce à l'aide de radiateurs qu'avec la ventilation, car la chaleur des radiateurs est émise à la fois par convection et par rayonnement avec une sensation thermique bien plus uniforme. Enfin, avec des débits de ventilation importants, le réseau de gaines et de diffuseurs au plafond constitue un risque de nuisances sonores. De toute évidence, le bruit doit être évité car il constitue une source de distraction et peut donc réduire la productivité.

Comme nous l'avons vu plus haut, l'inconfort thermique suscite des plaintes et peut, dans certains cas, réduire les performances au travail de près de 15 %. Au vu de cette conclusion et du risque de bruit, les installations hydrauliques sont le plus souvent supérieures aux installations aérauliques en matière de QEI. De plus, il est souvent plus facile de concevoir une installation de chauffage hydraulique performante qu'une installation aéraulique offrant le même niveau de confort et de QEI.

Chauffage à basse température

Le processus de transfert thermique peut être exprimé comme le flux d'énergie thermique entre les régions à haute et à basse température. Dans tous les processus de transfert d'une installation de chauffage, de l'énergie est perdue dans l'environnement. Les températures diminuent donc constamment, raison pour laquelle il est nécessaire de fournir aux installations de chauffage des températures supérieures aux besoins de l'utilisateur final, à savoir l'air de la pièce. Pendant de nombreuses années, il était tout à fait courant de construire des installations fournissant des températures de 70 à 90 °C, même si l'objectif était une température de l'air de la pièce d'environ 22 °C. Mais atteindre des températures aussi élevées

coûte relativement cher.

Le processus de transfert thermique à partir d'une surface, comme un serpentin de chauffage ou un radiateur, à l'air environnant peut être exprimé comme une fonction d'un coefficient de transmission thermique, de la surface et de la différence de température moyenne entre la surface et l'air.

$$\Phi = \alpha \times A \times (t_s - t_a) \quad \text{où}$$

Φ = Flux thermique [kW]

α = Coefficient de transmission thermique surfacique [W/m²K]

A = Aire [m²]

t_s = Température de surface [°C]

t_a = Température de l'air [°C]

Avec les installations aérauliques, l'air est fourni à une température plus élevée que celle de l'air de la pièce. La différence peut aller jusqu'à 8 ou 10 °C. L'air fourni est chauffé dans les serpentins de chauffage qui se trouvent normalement dans la centrale de traitement d'air. Pour des raisons de coût, la taille de la centrale et des serpentins est limitée, ce qui réduit la surface d'échange des serpentins de chauffage. Cela signifie que la différence de température doit être proportionnellement plus importante entre la surface d'échange des serpentins et l'air, et que la température de l'eau qui circule dans le serpentin doit être plus élevée. En employant une surface d'échange plus importante, un plancher chauffant par exemple, il est possible de réduire considérablement la température de l'eau. Les serpentins de chauffage de la centrale de traitement d'air sont toujours nécessaires, mais uniquement pour chauffer l'air extérieur froid en vue d'obtenir des conditions isothermes pour l'air soufflé.

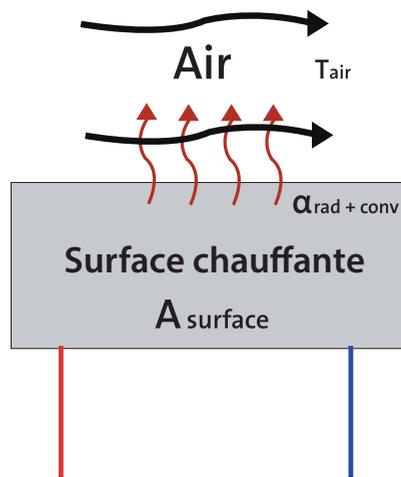


Schéma du transfert thermique entre une surface chauffante et l'air environnant

Exemple : Chauffage à basse température

5 kW de chaleur doivent être fournis à une pièce de 200 m² avec une température de l'air de 22 °C à l'aide d'un plancher chauffant. Cela correspond à 25 W par m² de plancher.

Chauffage par le sol (conduites coulées dans la chape)

Diamètre et espacement de la tuyauterie = \varnothing 20 mm (espacement = 150 mm)

Épaisseur de la chape = 150 mm (béton, $\lambda = 1,9$ W/mK)

Revêtement de sol = moquette fine ($R = 0,1$ m²K/W)

Différence maximale de température de l'eau dans les conduites,

$\Delta T_{\text{eau}} = 5$ °C (limitée par le confort thermique)

Le coefficient de transmission thermique (α) est déterminé conformément à la norme européenne EN 1264-2:2008 et au guide REHVA n°7 : 2,57 W/m²K. Cette valeur est basée sur la géométrie et les matériaux employés.

$$\Delta T_{\text{log}} = \Phi / (\alpha \times A) = 5\,000 \text{ W} / (2,57 \text{ W/m}^2\text{K} \times 200 \text{ m}^2) = 9,7 \text{ °C} \text{ (la différence max. autorisée est } 33 \text{ °C)}$$

$$T_{\text{alimentation}} = \Delta T_{\text{log}} + T_{\text{air}} + \Delta T_{\text{eau}} / 2 = 9,7 \text{ °C} + 22 \text{ °C} + 2,5 \text{ °C} = 34,2 \text{ °C}$$

$$T_{\text{retour}} = T_{\text{alimentation}} - \Delta T_{\text{eau}} = 34,2 \text{ °C} - 5 \text{ °C} = 29,2 \text{ °C}$$

$$\text{Eau circulante} = \Phi / (c_p \times \Delta T_{\text{eau}}) = 5\,000 \text{ W} / (4\,200 \text{ J/kgK} \times 5 \text{ K}) = 0,24 \text{ kg/s}$$

Comme on peut le voir, un plancher chauffant permet de chauffer avec une température d'alimentation beaucoup plus basse (34,2 °C) qu'une installation aéraulique classique (environ 70 °C). La capacité du chauffage par le sol est bien supérieure à ce qui montré dans cet exemple : il est possible de fournir jusqu'à 100 W/m² de sol tout en assurant un bon confort thermique avec une température d'alimentation de seulement 55 °C.

INSTALLATIONS DE CHAUFFAGE

Vous trouverez dans ce chapitre une description des circuits et mécanismes de régulation qui composent l'installation de chauffage.

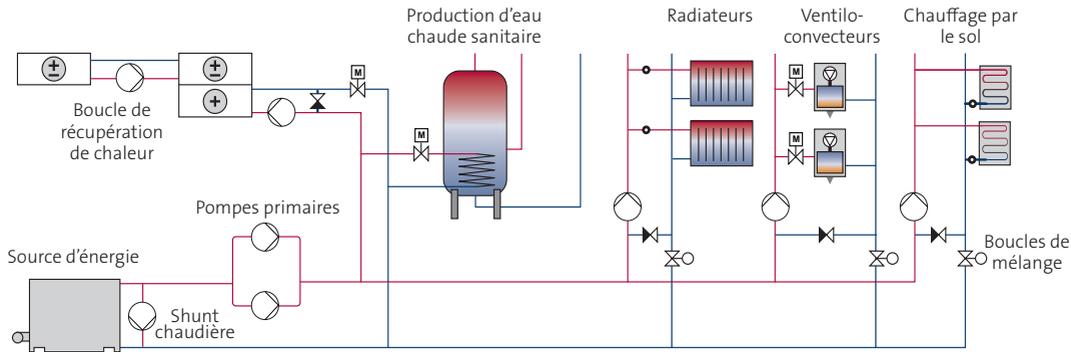


Schéma d'une installation de chauffage central avec ses principaux composants.

Production de chaleur

En général, le chauffage des bâtiments collectifs et tertiaires est produit de façon centralisée au sein (ou à proximité immédiate) du bâtiment ; le bâtiment peut également être raccordé à un réseau de chauffage urbain. Le chauffage central sur site fait appel à différentes technologies ; les solutions les plus courantes et les plus utilisées sont décrites ci-après.

Chaudières à gaz et au fuel

Les chaudières sont le récipient clos traditionnellement employé pour chauffer l'eau ou un autre fluide destiné aux installations de chauffage central. Une installation de chaudière comprend les composants suivants : un brûleur, des injecteurs, une enveloppe, un réservoir d'eau chaude (intégré ou séparé) et une cheminée. La chaudière produit de la chaleur grâce à la combustion de fuel domestique (petites installations), de fuel lourd (grosses installations)



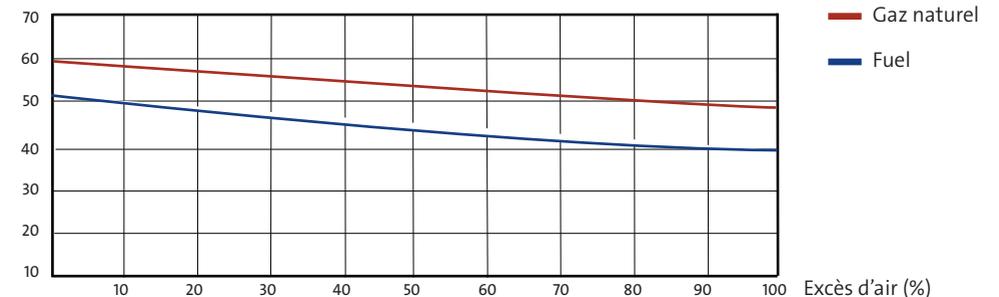
Exemple de chaudière à condensation. Avec l'autorisation de Viessmann.

ou de gaz naturel. Ce document ne traite pas des chaudières à combustible solide.

Chaudière à condensation

Traditionnellement, l'énergie des gaz chauds produits par le processus de combustion est échangée avec l'eau circulant dans un circuit séparé afin d'en augmenter la température. Les chaudières modernes à condensation sont plus performantes car elles exploitent également la chaleur latente de l'eau présente sous forme de vapeur dans les fumées. Les chaudières traditionnelles atteignent un rendement thermique maximal d'environ 80 %. Cela signifie que près de 20 % de la chaleur produite par les chaudières traditionnelles est perdue avec les fumées. La majeure partie de cette chaleur se retrouve sous forme d'eau qui a été vaporisée pendant la combustion. En condensant cette vapeur d'eau dans l'échangeur de la chaudière, l'énergie supplémentaire portée par la vapeur est récupérée par la chaudière. La vapeur d'eau condensée est utilisée pour préchauffer l'eau du circuit de retour en abaissant la température des fumées d'environ 120-180 °C à seulement 50-60 °C. Les chaudières à condensation obtiennent généralement des rendements très élevés, de l'ordre de 90 à 98 %. Pour supporter la corrosion occasionnée par le condensat acide, les chaudières à haut rendement

Point de rosée moyen °C



Point de rosée moyen pour les combustibles les plus courants. Excès d'air : rapport entre la quantité d'air fourni au processus de combustion au-delà de la quantité théoriquement nécessaire pour obtenir une combustion parfaite.

doivent employer des échangeurs en acier inoxydable ou autre matériau résistant à la corrosion.

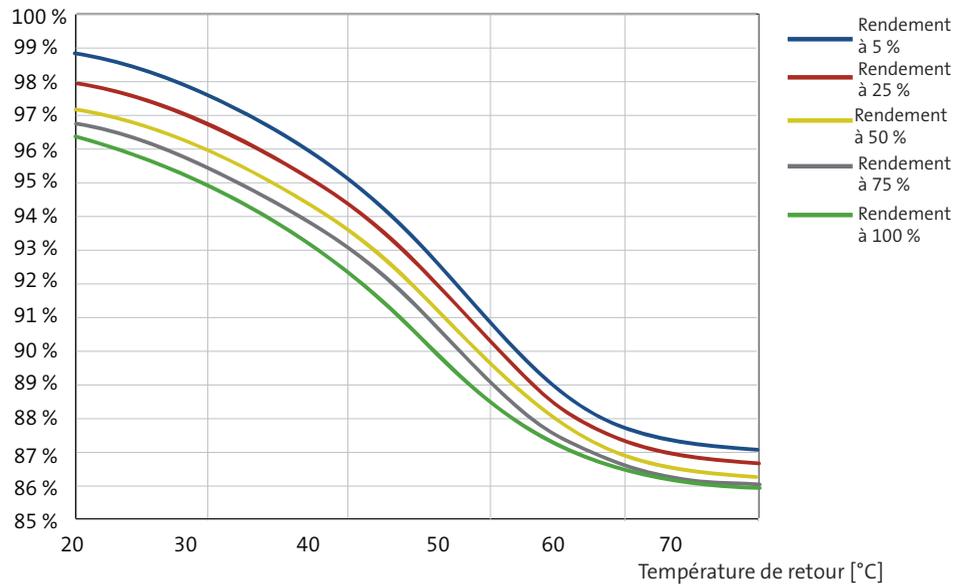
Température du circuit de retour

Pour un rendement maximal, les chaudières à condensation doivent être en mesure de réaliser la condensation des gaz de combustion dans l'échangeur de chaleur. Pour cela, la température de l'eau en circulation qui revient vers la chaudière doit être aussi basse que possible. Plus la température de l'eau de retour est basse, plus la condensation est importante et plus le rendement de la chaudière augmente. On obtient un

rendement maximal pour une température de retour de 25 à 27 °C. Cela nécessite des installations basse température comme le chauffage radiant par le sol. Le rendement baisse fortement quand la température de l'eau de retour dépasse 58-60 °C, car la condensation est minimale au-delà de cette température.

Grâce à son échangeur plus grand et plus performant, la chaudière à condensation sera toujours plus performante qu'une chaudière traditionnelle, et pas uniquement lorsqu'elle fonctionne en mode condensation.

Rendement de la chaudière [%]



Rendement d'une chaudière à condensation en fonction de la température de retour

Exemple : Consommation de combustible avec ou sans condensation

Une installation de chauffage de 1 500 kW est alimentée par une chaudière à condensation au gaz naturel. Dans l'exemple suivant, on calcule la consommation de combustible lors des pics de charge dans différentes situations. On examine l'installation pour des températures de flux de 90 °C et de 70 °C, et des températures de retour inférieures de 10 °C, 20 °C et 30 °C par rapport à la température d'alimentation.

Pouvoir calorifique du gaz naturel : 10,8 kWh/m³

Consommation de gaz, $V = (1\ 500\ \text{kW} / 10,8\ \text{kWh/m}^3) / \eta$

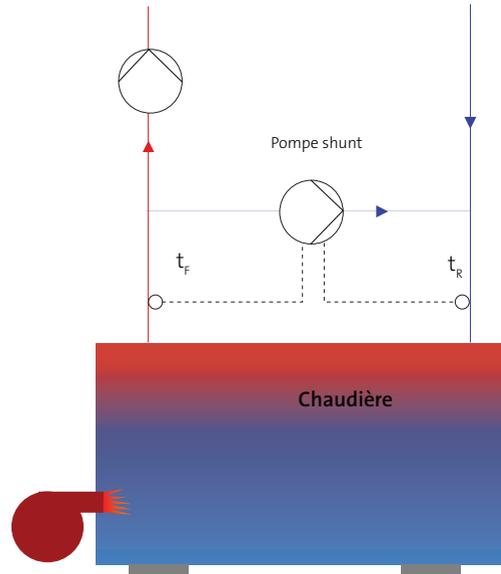
Température de flux de 90 °C			
Différence de température, Δt	10 °C	20 °C	30 °C
Température de retour, t_r	80 °C	70 °C	60 °C
Rendement de la chaudière, η	86,5 %	87,0 %	87,5 %
Consommation de gaz, V	160,6 m ³ /h	159,6 m ³ /h	158,7 m ³ /h
Température de flux de 70 °C			
Différence de température, Δt	10 °C	20 °C	30 °C
Température de retour, t_r	60 °C	50 °C	40 °C
Rendement de la chaudière, η	87,5 %	94,5 %	96 %
Consommation de gaz, V	158,7 m ³ /h	147,0 m ³ /h	144,7 m ³ /h

Lors de la conception de l'installation de chauffage, il est très important d'assurer des températures de retour aussi basses que possible afin de réduire la consommation d'énergie. On peut économiser environ 10 % de combustible en concevant une installation basse température avec une température de retour de 40 °C au lieu de 80 °C.

Shunt chaudière

Un shunt constitue souvent le premier mécanisme de régulation de la température que rencontre le fluide dans le circuit de distribution. Ce shunt joue un rôle double :

- Mélanger l'eau de retour avec une partie de l'eau d'alimentation afin de garantir une température minimale dans la conduite de retour vers la chaudière, car des écarts de température trop importants ($t_F - t_R$) génèrent des contraintes mécaniques sur le matériau de la chaudière et en réduisent la durée de vie.
- Éviter la condensation et la corrosion à l'intérieur de la chaudière en maintenant la température de retour (t_R) au-dessus du point de rosée des fumées.

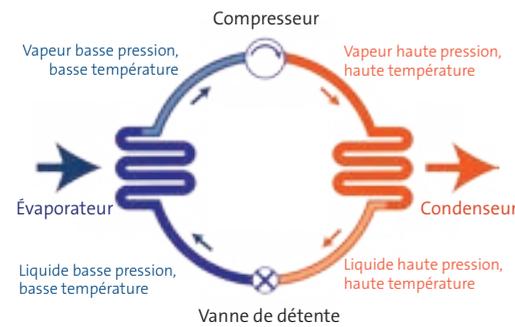


Chaudière avec shunt entre le refoulement et le retour. Dans ce cas, il est recommandé d'utiliser une pompe à vitesse variable. Les performances de la pompe dépendent de la différence de température entre le refoulement et le retour. Si la différence de température dépasse 30 °C, par exemple, le régime de la pompe augmente, et vice versa.

Néanmoins, il est désormais possible, grâce aux technologies modernes de pompage, d'obtenir les meilleures performances en termes de régulation et de fonctionnement du shunt chaudière en installant des pompes intelligentes à régulation de température, qui ajustent en permanence la température de retour à la valeur optimale en fonction des mesures de température d'alimentation et de retour.

Pompes à chaleur

Les pompes à chaleur sont des appareils qui transfèrent l'énergie d'un niveau de température à un autre au moyen d'un réfrigérant circulant afin d'exploiter des sources de chaleur à basse température. On trouve toutefois des pompes à chaleur dans de nombreuses installations CVC. Lorsqu'elles sont utilisées pour la climatisation ou la réfrigération, le processus est inversé afin de transférer de la chaleur d'un haut niveau de température à un niveau plus bas.



Le cycle de réfrigération de la pompe à chaleur. Dans l'évaporateur, l'énergie est captée à partir de l'environnement extérieur. La distribution de la chaleur a lieu dans le condenseur.

Les pompes à chaleur exploitent les propriétés physiques de l'évaporation et de la condensation des gaz réfrigérants. Le réfrigérant, à l'état gazeux, est mis sous pression et en circulation dans le circuit par un compresseur. Dans le circuit de refoulement du compresseur, de la vapeur chaude et sous forte pression est refroidie dans un échangeur de chaleur, le condenseur, jusqu'à ce qu'elle condense pour devenir un liquide à température modérée et forte pression. Le réfrigérant condensé passe alors par une vanne de détente qui abaisse la pression. Le réfrigérant liquide et à basse pression entre dans un autre échangeur de chaleur, l'évaporateur, dans lequel le fluide absorbe la chaleur et entre en ébullition. Ensuite, le réfrigérant vaporisé retourne au compresseur, et le cycle recommence. Les sources de chaleur à mettre en contact avec l'évaporateur comprennent souvent l'air extérieur, comme dans les pompes à chaleur air-air. Mais il peut être avantageux pour les installations de grande taille d'employer des sources de chaleur à base d'eau, car l'eau retient la chaleur sous une forme beaucoup plus dense que l'air.

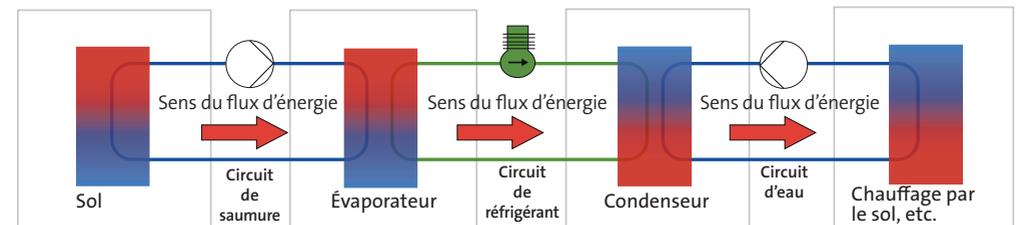


Schéma illustrant les circuits d'une installation de pompe à chaleur sol-eau.

Les pompes à chaleur se caractérisent par une consommation d'énergie moindre que d'autres installations de chauffage, car elles ont besoin d'électricité uniquement pour alimenter le compresseur de la boucle de réfrigération. Dans les pompes à chaleur, le rendement est indiqué par le COP (coefficient de performance), qui exprime la quantité de chaleur produite en fonction du travail fourni, soit les kW de chaleur produits par kW d'électricité fourni. À titre d'exemple, le COP d'un convecteur électrique est de 1,0, car il fournit 1,0 kW de chaleur par kW d'électricité.

Le COP dépend beaucoup du niveau de température à fournir. Plus la pompe à chaleur doit augmenter la température entre l'évaporateur (la source de chaleur) et le condenseur (installation de chauffage central), moins elle est performante (COP plus faible). C'est pour cette raison que les pompes à chaleur sont le plus souvent utilisées avec des émetteurs de chaleur à basse température.

	Chauffage par le sol 25-45 °C	Radiateurs basse température 55-60 °C
PAC air-air, air à -20 °C	2,2	-
PAC air-air, air à 0 °C	3,8	2,2
PAC air-air, toute l'année	2,7-3,0	2,5-2,7
PAC sol-eau, sol à 0 °C	5,0	2,9
PAC sol-eau, sol à 10 °C	7,2	3,7
PAC sol-eau, toute l'année	3,4-3,8	3,1-3,5

COP pour différentes configurations de pompe à chaleur

Capteurs solaires thermiques

L'énergie solaire est une source d'énergie renouvelable gratuite et très performante, qui peut être utilisée pour des installations CVC chez les particuliers ou pour les bâtiments collectifs dans ce que l'on appelle les capteurs solaires thermiques à basse et moyenne température. Le seul composant qui consomme de l'énergie est la pompe nécessaire au transport de l'énergie collectée dans le circuit.

Les capteurs solaires thermiques sont souvent installés sur les toits ou autres zones exposées, où ils peuvent tirer un maximum d'énergie du rayonnement solaire. Un réfrigérant circulant est chauffé dans les capteurs avant d'être stocké dans un réservoir de stockage solaire, et donc séparé du reste

de l'installation de chauffage. Le réservoir de stockage est un maillon essentiel de l'installation solaire, car il permet de stocker toute la chaleur générée par le capteur solaire thermique afin de pouvoir l'utiliser en cas de besoin. La chaleur est transférée au circuit de distribution ou à l'installation de chauffage central par un échangeur de chaleur monté dans le réservoir. Il est possible d'atteindre des températures allant jusqu'à 60 °C, voire 90 °C, selon le type d'installation.

L'utilisation de l'énergie solaire thermique devrait réduire le recours aux combustibles fossiles pour le chauffage, mais elle ne permettra pas de couvrir l'ensemble des besoins en chauffage pendant toute l'année. Le rendement et la capacité nécessaire dépendent beaucoup de la situation géographique et de l'application prévue pour l'installation.



Panneaux solaires thermiques

Installations solaires à boucle fermée

Les installations à boucle fermée se distinguent par le fait que leur circuit de tuyauterie et leur capteur sont sous pression et remplis d'eau en permanence. Pour éviter le gel pendant les périodes de grand froid, on ajoute du glycol dans l'eau.

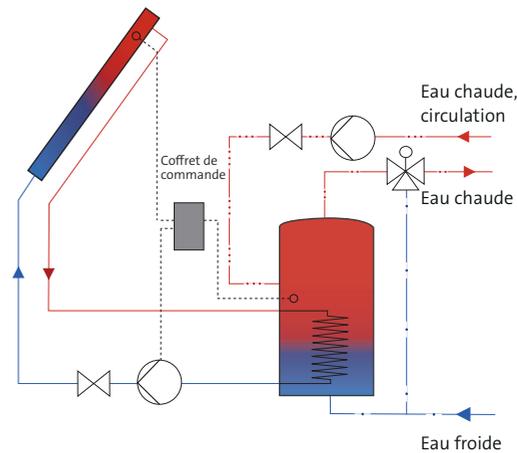
Les installations indirectes comportent un échangeur de chaleur qui sépare la boucle fermée de l'eau potable.

Installations solaires avec chauffage et production d'eau chaude sanitaire

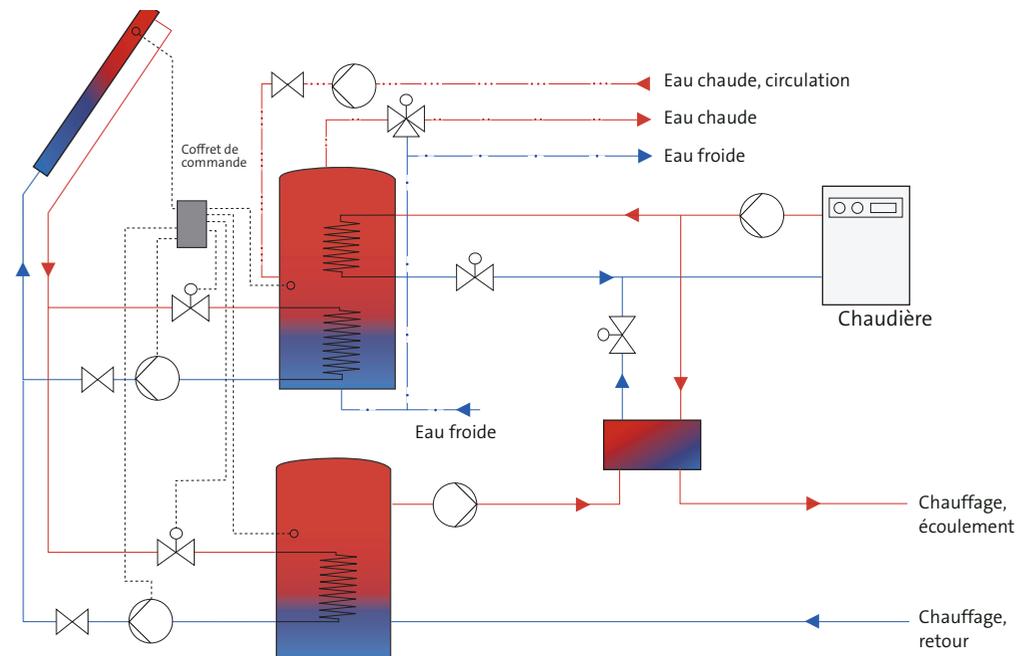
Dans ce cas, c'est généralement l'eau chaude qui est prioritaire. Ce n'est qu'en cas de surplus de chaleur solaire que le réservoir de chauffage est alimenté. La chaudière de secours prend le relais lors des pics de charge pour alimenter les deux réservoirs.

Chauffage urbain

L'expression « chauffage urbain » désigne une installation de chauffage à eau qui présente une grande distance entre le lieu où la chaleur est produite (centrale) et le lieu où elle est consommée (le bâtiment). On trouve du chauffage urbain dans la plupart des grandes villes et sur les grands campus universitaires. Le chauffage urbain fait l'objet d'un document séparé, le guide d'application Grundfos Chauffage urbain.



Installation solaire pour eau chaude sanitaire uniquement.



Installation solaire avec chauffage et production d'eau chaude sanitaire.

Distribution de chaleur et régulation

En sortant de la centrale de production de chaleur ou du réseau de chauffage urbain, l'eau doit être distribuée dans le bâtiment. Pour cela, différents dispositifs et configurations sont possibles selon les besoins.

Pour assurer une bonne régulation et un bon fonctionnement de l'installation de chauffage, on divise souvent le tout en circuits primaire, secondaire et tertiaire au moyen de boucles de mélange, par exemple. Suivant la configuration de la boucle de mélange, la régulation de débit ou le mélange de températures peut être effectué à débit ou température constant ou variable.

Équation régissant la régulation du flux thermique

On peut décrire le transport de chaleur dans les installations hydrauliques avec la fonction suivante.

$$\Phi = Q \times \rho \times c_p \times (t_f - t_r) \quad \text{ou}$$

Φ = Flux thermique [kW]

Q = Débit volumique [m³/s]

ρ = Densité du fluide [kg/m³]

c_p = Capacité thermique du fluide [kJ/kgK]

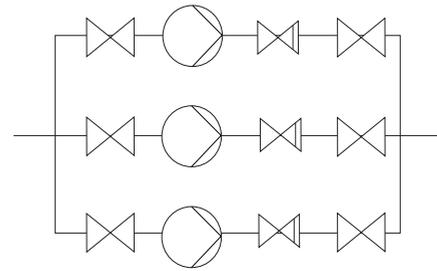
t_f = Température d'écoulement du fluide [°C]

t_r = Température de retour du fluide [°C]

Dans ce contexte, le débit volumique et la différence de température sont directement proportionnels, c'est-à-dire qu'une variation donnée du débit du fluide modifiera le flux thermique général, tout comme le fera un changement de température. Sur la base de ce lien, on peut réguler le transport de chaleur en faisant varier le débit ou la température du fluide. Dans les faits, le débit du fluide est régulé par des vannes de régulation de débit, et la température par le mélange du flux d'alimentation avec celui de retour. Ces mécanismes sont décrits dans les chapitres suivants.

Pompes principales

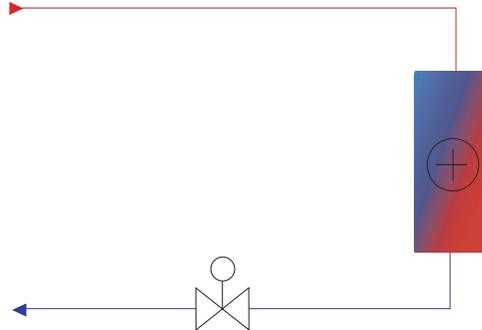
L'eau chaude est distribuée dans le circuit principal par un groupe de pompes principales. En raison des variations de la demande et du débit, il est recommandé d'employer des pompes à vitesse variable montées en parallèle. En régulant la vitesse de toutes les pompes, il est possible d'obtenir un meilleur rendement énergétique, ce qui est particulièrement important au point de consigne auquel l'installation fonctionne le plus fréquemment.



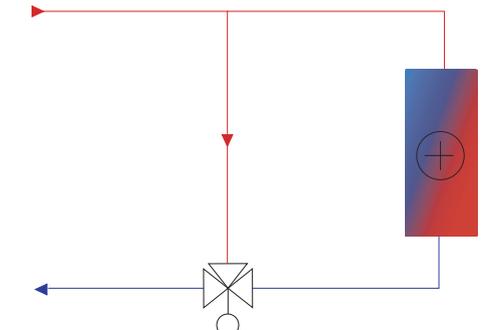
Trois pompes connectées en parallèle garantissent la souplesse et la fiabilité de fonctionnement.

Couplages de tuyauterie pour une température constante

Dans sa forme la plus simple, le circuit de distribution raccorde directement la production de chaleur avec les émetteurs de chaleur, sans échangeur ni mélange. Dans ce type de configuration, la distribution et la régulation dépendent des variations de débit dans les émetteurs de chaleur, car la température d'alimentation est constante dans toute l'installation. Les deux schémas ci-après permettent de voir comment il est possible de réguler le flux à l'aide de vannes 2 voies ou 3 voies, la différence étant le débit variable ou constant dans le circuit principal. La configuration de distribution avec vanne 3 voies est employée dans les installations nécessitant un débit constant.

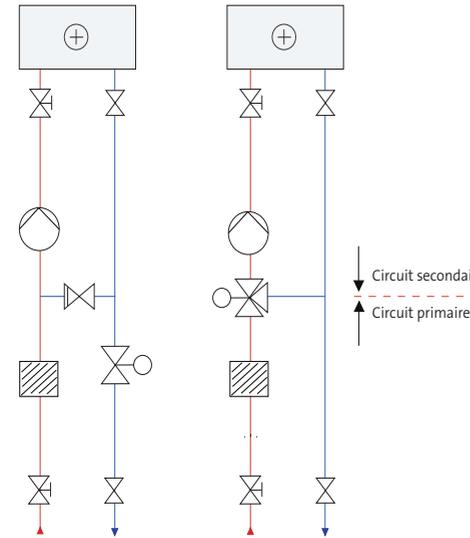


Une vanne 2 voies adapte directement le débit fourni au consommateur et dans le circuit primaire.



Une vanne 3 voies permet de réduire le débit fourni au consommateur sans modifier le débit du circuit primaire.

Ce système de régulation directe du débit peut être employé avec les serpentins de chauffage et radiateurs de zone. Cependant, comme cette configuration ne permet pas une régulation de température et/ou des températures d'alimentation différentes pour les divers sous-systèmes d'émetteurs de chaleur, notamment les serpentins de chauffage et radiateurs, elle est plutôt adaptée à la régulation finale de débit avant l'émission de chaleur. Pour une régulation de température optimale, il est nécessaire de mettre en place des boucles de mélange avant la régulation de débit finale.



Deux manières de réaliser une boucle de mélange à shunt simple. Gauche : Boucle de mélange avec une vanne motorisée de régulation à 2 voies. Droite : Boucle de mélange avec une vanne motorisée de régulation à 3 voies.

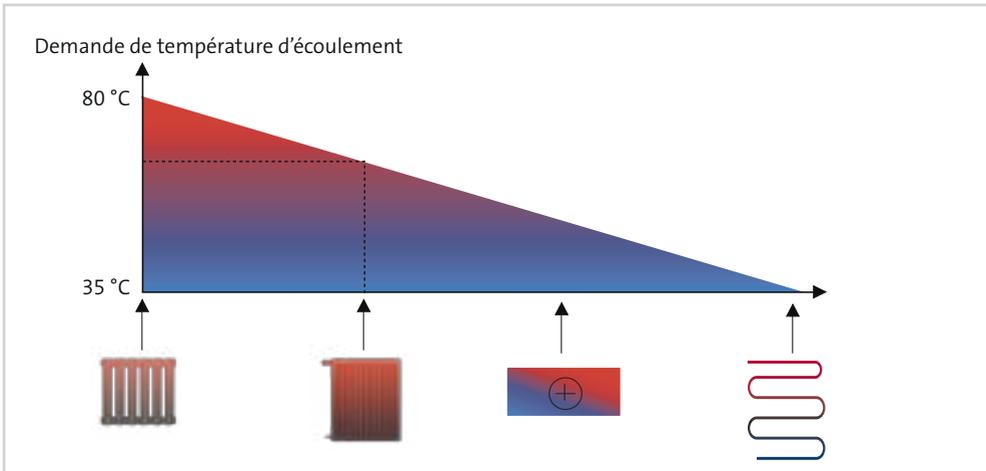
Boucles de mélange pour température variable

Avec la présence de consommateurs différents dans l'installation de chauffage central, on peut mettre en place des boucles de mélange ou des shunts pour fournir le débit et la température les mieux adaptés à chaque zone de l'installation de chauffage. Au moins 2 ou 3 circuits secondaires, souvent plus, sont nécessaires lorsque les serpentins de chauffage et radiateurs sont alimentés par la production d'eau chaude du réseau de chauffage urbain. Comme chaque circuit présente des besoins différents, ils nécessitent généralement une boucle de mélange. Ces boucles de mélange de température peuvent être conçues de plusieurs manières différentes. Nous allons traiter ici des boucles de mélange à shunt simple avec des vannes à 2 ou 3 voies.

Le couplage standard à shunt simple (voir figure) est la configuration de mélange la plus couramment employée ; elle est utilisée dans tous les domaines et toutes les applications de chauffage et de refroidissement. Il permet une régulation très précise, ainsi qu'un débit constant ou variable dans le circuit secondaire. Il est également possible d'avoir recours à un couplage à shunt double, qui permet un débit constant dans le circuit primaire et dans le circuit secondaire, ce qui peut être avantageux quand la chaudière nécessite un débit constant. De plus, cela réduit le risque d'interférence de la part des circuits voisins. Cette configuration à shunt double conserve également les mêmes avantages que la configuration à shunt simple.

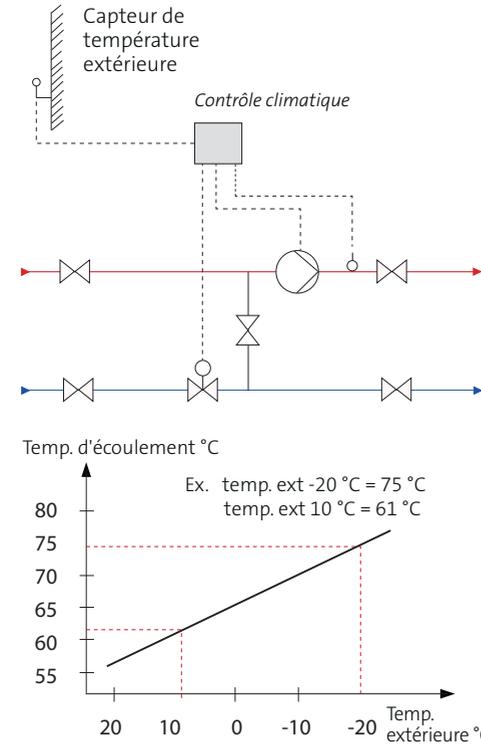
Les échangeurs de chaleur peuvent être utilisés pour la régulation de température quand on souhaite séparer totalement deux circuits. Ces configurations sont souvent qualifiées d'indirectes, car la séparation entre les circuits rend le transport de

l'énergie indirect. Les échangeurs de chaleur sont intéressants quand on utilise deux fluides différents, comme dans le cas des pompes à chaleur ou de la production d'eau chaude sanitaire, ou, tout simplement, si le propriétaire d'un réseau de chauffage urbain a besoin de mettre en place des séparations pour une meilleure gestion des fuites ou à des fins de facturation aux consommateurs. De plus, cela permet un meilleur découplage hydraulique, et il devient possible de gérer les précautions en matière de pression au niveau local dans les réseaux de grande taille.

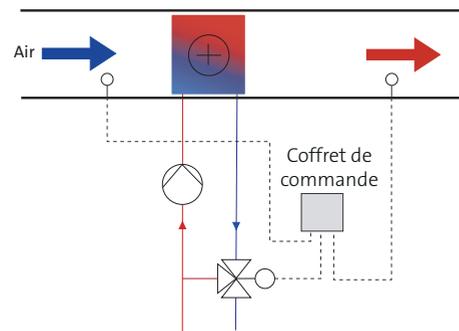


Radiateurs anciens en fonte	Radiateurs récents légers à convection	Serpentins de chauffage (CTA) (ventilo-convecteurs)	Chauffage par le sol
- fort rayonnement - convection faible	- rayonnement moyen - convection moyenne	- convection uniquement - à air	- rayonnement uniquement - grande surface

Dans une installation de chauffage, on installe souvent différents types de consommateurs de chaleur avec des besoins différents en matière de température d'écoulement.



Exemple d'une application particulière de la boucle de mélange : le contrôle climatique, destiné à réguler de façon centralisée la température d'alimentation en fonction de la température extérieure.



Exemple d'une configuration de boucle de mélange pour un serpentin de chauffage avec signal de retour de la température de l'air régulée en aval du serpentin. En mesurant aussi la température d'entrée de l'air en amont du serpentin, le coffret de commande peut ajuster précisément le point de consigne d'air d'entrée grâce à un contrôle climatique préprogrammé.

Régulateurs de boucle de mélange

Comme le but de la boucle de mélange est de réguler la température de l'eau, elle a besoin d'un système de régulation avec un point de consigne et un signal de retour de température. Ces systèmes de régulation peuvent être configurés de différentes manières selon la nature de l'application, mais ils comportent toujours un coffret de commande (P, PI ou PID), qui, via des signaux d'entrée, régule la température de l'eau par l'intermédiaire de vannes de régulation de débit et/ou en adaptant le régime des pompes. En présence de radiateurs, on emploie normalement à la fois la régulation de température et la régulation de débit. La température d'alimentation est régulée de façon centralisée dans une boucle de mélange en fonction de la température extérieure, ce qui permet de réduire au maximum la consommation d'énergie. Ce type de régulation est souvent également appelé « contrôle climatique » et s'appuie sur une fonction préprogrammée entre la température de l'air extérieur et la température de l'eau d'alimentation.

De plus, la chaleur fournie est régulée au niveau de la pièce concernée en faisant varier le flux qui alimente le radiateur grâce à des vannes thermostatiques. En exploitant la régulation de température et la régulation de débit, ces systèmes permettent une régulation optimale et un bon rendement énergétique.

Dans le cas des serpentins de chauffage, ce sont les boucles de mélange qui régulent la température d'entrée de l'air : en mélangeant l'eau d'alimentation, elles fournissent la bonne température au serpentin en fonction d'un signal de retour de la température réelle de prise d'air. Celle-ci est mesurée en permanence par rapport à un point de consigne, ce qui est un peu différent d'une régulation de compensation météo.

Disposition générale d'un système de régulation

Les boucles de mélange, les échangeurs, etc., sont des exemples d'équipements ou de régulateurs secondaires décentralisés pouvant être utilisés pour réguler le fluide à proximité du consommateur final ou dans les nœuds de l'installation de chauffage. Ces régulateurs secondaires ne sont pas indispensables, mais ils sont souvent très pratiques pour obtenir la fonctionnalité désirée. Tout dépend de la disposition générale du système de régulation. Vous trouverez ci-dessous des exemples de configuration d'une installation de chauffage.

Installation primaire uniquement

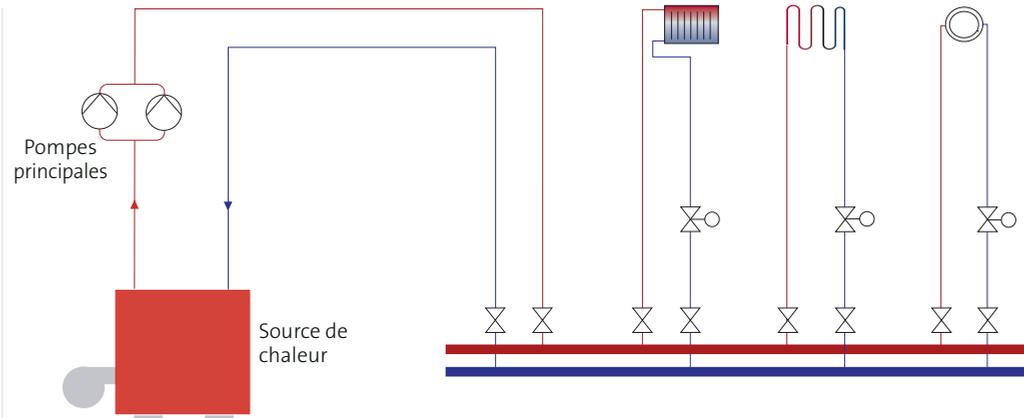
La configuration la plus simple, consistant en une simple installation primaire, repose sur une connexion directe entre l'alimentation et le consommateur final, sans régulation de température décentralisée. Un seul groupe de pompes principales pressurise l'ensemble de l'installation et ne permet donc que la régulation du débit (on a la même température dans l'ensemble de l'installation). On privilégie dans ce cas des pompes à vitesse variable régulées par la pression différentielle.

Avantages :

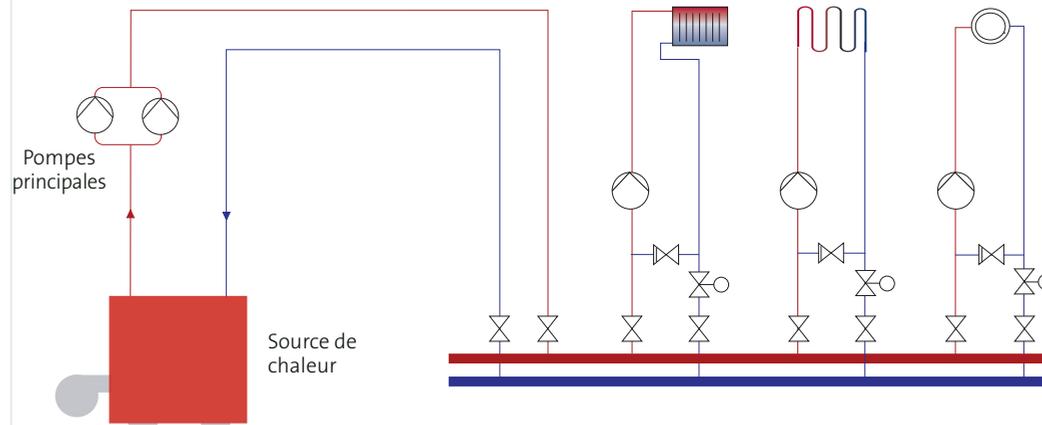
- Simplicité
- Réduction des pertes de chaleur dans les dispositifs d'échange de chaleur et dans la tuyauterie.

Inconvénients :

- Pression différentielle élevée dans l'installation, et donc risque de pompage à faible charge
- Température d'écoulement identique pour tous les types de consommateur
- Risque de faible rendement de la chaudière en raison de la température de retour élevée



Exemple d'installation primaire uniquement avec un seul groupe de pompes principales pour pressuriser l'ensemble de l'installation.



Exemple d'installation primaire/secondaire avec pompes principales dans le circuit primaire, et pompes secondaires moins puissantes dans les boucles de mélange.

Installation primaire/secondaire avec pompes principales et boucles de mélange

Une version plus sophistiquée de l'installation primaire fait appel à des boucles de mélange pour répartir le flux dans un circuit primaire et un circuit secondaire, ce qui permet de décentraliser la régulation de température et de débit. Les pompes principales pressurisent le circuit primaire, tandis que des pompes plus petites se chargent de la pression des circuits secondaires. Ceci permet d'obtenir un meilleur équilibre hydraulique dans l'ensemble de l'installation. Les pompes secondaires peuvent être régulées en mode tout ou rien ou par la pression différentielle pour obtenir un débit variable en fonction des besoins dans le circuit primaire. La régulation de vitesse des pompes primaires permet de réaliser d'importantes économies d'énergie.

Si des vannes de régulation 2 voies sont employées dans les boucles de mélange, la perte de pression dans ces vannes est gérée par les pompes primaires.

Avantages :

- Pression différentielle faible dans l'installation
- Possibilité de fournir aux consommateurs des températures d'alimentation différentes
- Possibilité d'avoir recours à un débit constant ou variable dans le circuit secondaire

Inconvénients :

- Une consommation d'énergie plus importante pour le fonctionnement des pompes que dans une installation primaire/secondaire sans pompes principales dans le circuit primaire
- Mise en œuvre plus chère et plus complexe que le type d'installation primaire uniquement

Installation primaire/secondaire avec boucles de mélange et vannes 3 voies

Les pompes des boucles de mélange pressurisent l'ensemble de l'installation et les pompes primaires ne sont plus nécessaires. Dans ce type d'installation, les vannes des boucles de mélange doivent être des vannes 3 voies. Ce type d'installation doit être utilisé uniquement si le débit variable est accepté dans le circuit primaire et si les pompes sont régulées par la pression différentielle.

Avantages :

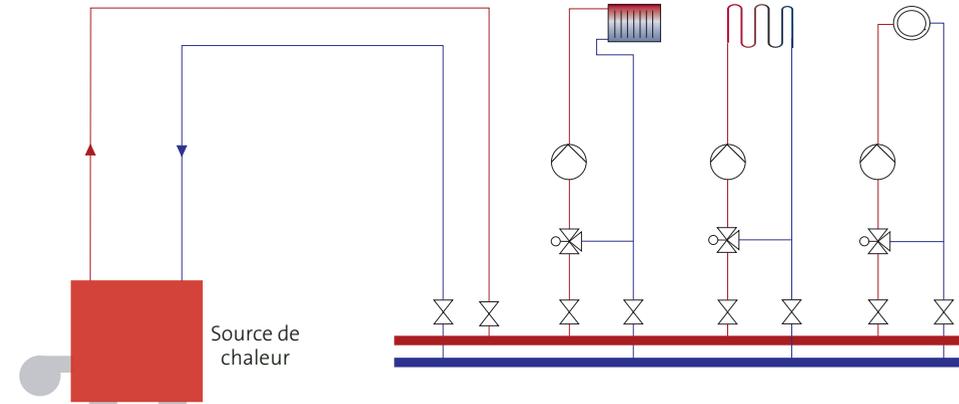
- Les pompes consomment très peu d'énergie
- Possibilité de fournir aux consommateurs des températures d'alimentation différentes
- Possibilité d'avoir recours à un débit constant ou variable dans le circuit secondaire

Inconvénients :

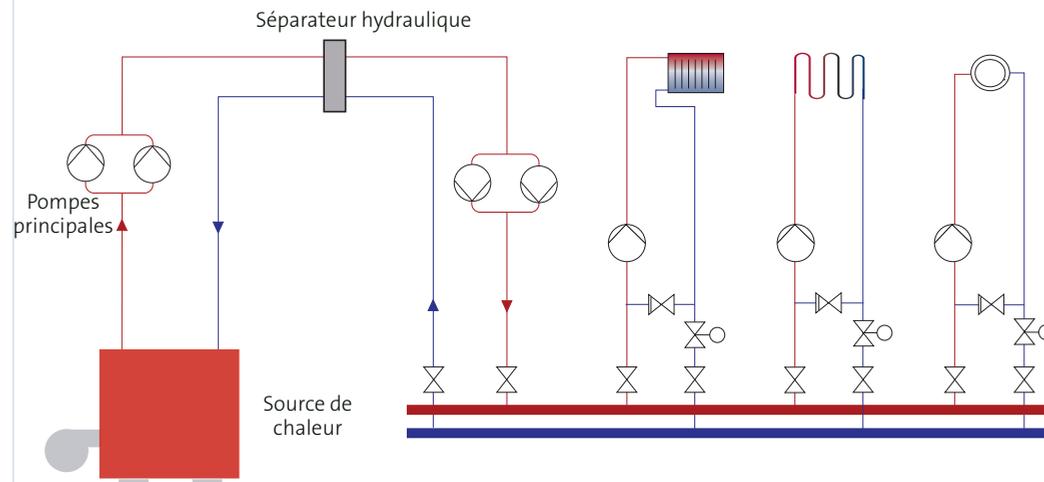
- Débit variable uniquement dans le circuit primaire
- Pression différentielle plus importante que dans une installation primaire/secondaire avec pompes principales dans le circuit primaire
- Mise en œuvre plus chère et plus complexe que le type d'installation primaire uniquement

Installation primaire/secondaire/tertiaire avec séparateur hydraulique et boucles de mélange

Le circuit primaire comprend le circuit séparé de la chaudière et dispose de ses propres pompes. Le circuit de distribution, ou circuit secondaire, alimente les boucles de mélange, qui constituent elles le circuit tertiaire de l'installation. Comme les installations de type primaire/secondaire décrites plus haut, le circuit secondaire/tertiaire peut être configuré sans pompes principales, les pompes de la boucle de mélange assurant alors la pressurisation. Dans ce cas, les vannes centrales doivent être des vannes à 3 voies.



Exemple d'installation primaire/secondaire avec pompes secondaires dans les boucles de mélange pour pressuriser l'ensemble de l'installation.



Exemple d'une installation primaire/secondaire/tertiaire avec séparation hydraulique entre les circuits primaire et secondaire.

Avantages :

- Les séparateurs hydrauliques sont généralement employés dans les installations de chauffage avec des chaudières disposant d'un volume d'eau limité, ainsi que dans les installations utilisant une chaudière à faible pouvoir de dissipation. Le rapport cyclique de ces installations est élevé, le rendement de la chaudière est donc mauvais. On met donc en place un séparateur hydraulique dans l'installation pour réduire le rapport cyclique ainsi que le risque d'ébullition soudaine due au chauffage trop rapide de l'eau. Mettre à disposition un volume et un flux d'eau plus important permet de réduire le cycle de la chaudière ainsi que le risque d'ébullition localisée sur la surface chauffante de la chaudière.

Inconvénients :

- L'étalement des flux doit être effectué avec le plus grand soin, car les débits primaire et secondaire doivent toujours être égaux.
- Si le débit primaire est supérieur au débit secondaire, le mélange se fait dans le séparateur hydraulique et se mélange avec l'eau de retour froide du circuit secondaire. Dans ce cas, la température de retour primaire augmente. Dans le cas d'une chaudière à condensation, le rendement de la chaudière est compromis car il n'est pas possible de réaliser la condensation des fumées.
- Si le débit secondaire est supérieur au débit primaire, le mélange a lieu dans le séparateur hydraulique. Dans ce cas, une partie de l'eau de retour froide monte et se mélange avec l'eau chaude provenant du bâtiment. Cela entraîne une baisse de la température du flux secondaire, et donc une baisse des performances de l'installation.

Configurations de tuyauterie

Il existe trois grandes catégories de configurations de tuyauterie : les installations monotubes, les installations bitubes et les installations bitubes avec retour inversé.

Installations de chauffage monotubes

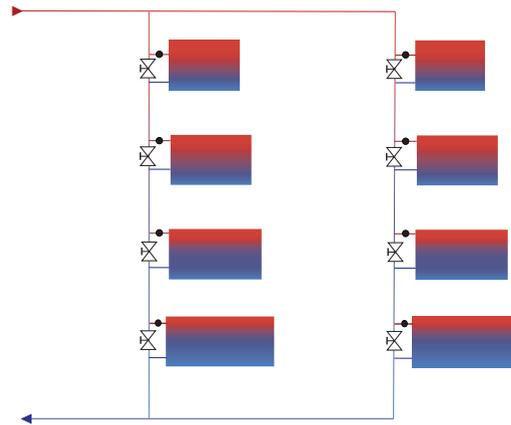
La configuration monotube est rarement utilisée car les consommateurs de chaleur (radiateurs, serpentins de chauffage, etc.) les plus éloignés de la production de chaleur doivent être dimensionnés pour une température en baisse. Cela signifie que la taille des surfaces de chauffe d'un bâtiment doit augmenter en fonction de la baisse de la température d'écoulement. Les installations monotubes sont essentiellement utilisées dans les bâtiments résidentiels.

Avantages :

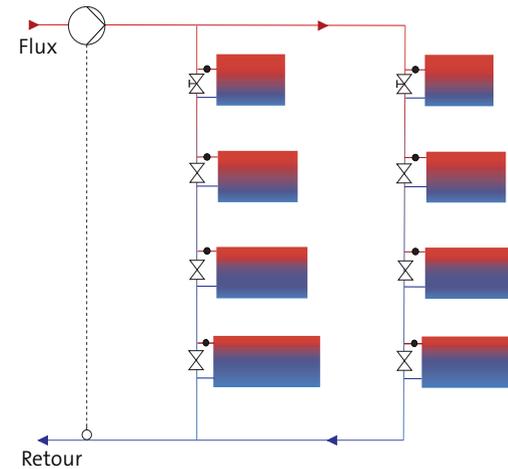
- Nécessite peu de tuyauterie
- Possibilité de refroidissement très important de l'eau de chauffage, ce qui est important dans le cas des chaudières à condensation et du chauffage urbain

Inconvénients :

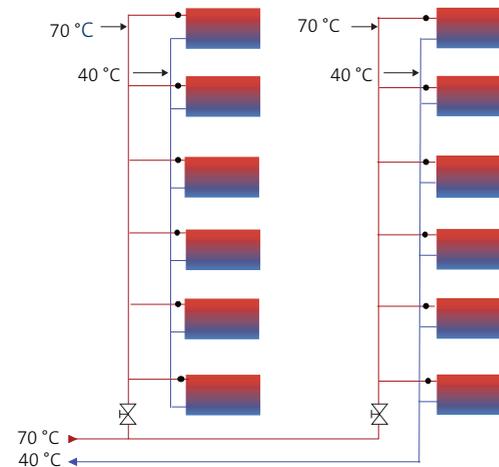
- Risque de température de retour élevée en cas de faible charge
- Conception compliquée car la taille des surfaces de chauffage varie beaucoup
- Risque d'erreur pendant la pose des surfaces chauffantes
- Équilibrage très précis de chaque surface chauffante
- Les surfaces chauffantes prennent beaucoup de place aux extrémités du circuit (basse température)
- Le fait d'étendre une installation monotube crée un déséquilibre hydraulique



Exemple d'installation de chauffage monotube. Dans ce cas, les radiateurs fonctionnent avec un débit et des températures de retour qui diminuent.



Exemple de pompe à débit variable en mode de régulation ΔT utilisant les signaux du capteur de température intégré à la pompe et un capteur de température externe. Si le ΔT devient trop bas dans l'installation, la pompe baisse son régime, et inversement.



Exemple d'installation de chauffage bitube. Tous les radiateurs fonctionnent selon les mêmes conditions de température.

Installations de chauffage monotubes à régulation ΔT

Les technologies modernes en matière de pompes intelligentes sont celles qui offrent les meilleures performances en termes de régulation et de fonctionnement pour les installations monotubes. En effet, en recourant à des pompes intelligentes à régulation de température, on peut adapter le débit de l'installation en continu à la charge réelle afin d'assurer en permanence la température de retour souhaitée et un rendement maximal pour l'installation. Afin de maintenir une différence de température élevée dans l'installation, le régime de la pompe diminue en cas de faible différence de température, et inversement. La régulation ΔT convient bien aux installations équipées de chaudières à condensation et aux installations reliées à un réseau de chauffage urbain.

Installations de chauffage bitubes

Dans toutes les installations bitubes, les radiateurs sont dimensionnés pour la même température d'écoulement et la même différence de température. Dans une installation bitube avec circuit de retour direct, la perte de charge est beaucoup plus faible dans le radiateur le plus proche que dans le radiateur le plus éloigné. Pour éviter d'augmenter le débit dans le circuit, il est nécessaire d'équilibrer l'installation. L'installation est divisée en plusieurs sections ou zones, qui sont équilibrées séparément. De plus, les surfaces chauffantes sont dotées de thermostats pré-réglables pour l'équilibrage.

Avantages :

- Type d'installation simple et fiable
- La tuyauterie est très simple, l'installation peut être facilement modifiée/agrandie
- Toutes les surfaces chauffantes présentent les mêmes conditions de température, ce qui facilite le dimensionnement
- Toutes les surfaces chauffantes font la même taille, ce qui réduit le risque d'erreur sur le chantier de construction
- Convient bien aux chaudières à condensation et au chauffage urbain

Inconvénients :

- Les thermostats doivent être pré-réglés individuellement
- Les différents circuits (zones) doivent être équilibrés séparément

Installation de chauffage bitube avec retour inversé (boucle de Tichelmann)

Une installation bitube dans laquelle chaque radiateur d'une section donnée présente la même longueur de tuyauterie de distribution (alimentation + retour de la pompe jusqu'au radiateur, puis à nouveau jusqu'à la pompe) est appelée une boucle de Tichelmann. On parle également d'installation à retour inversé.

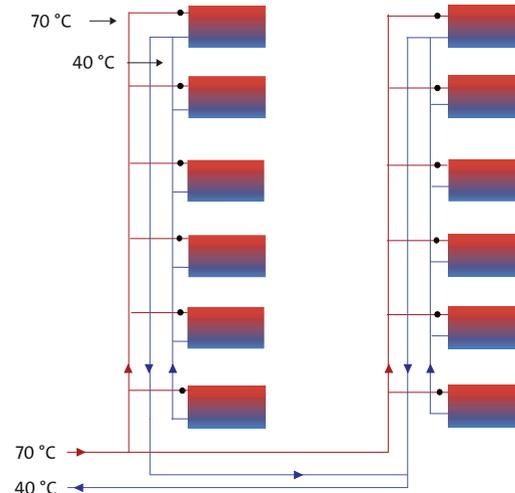
Les radiateurs avec une conduite d'alimentation courte à partir de la pompe présentent une conduite de retour plus longue. Pour les radiateurs plus éloignés de la pompe, c'est le contraire. Cela garantit une résistance uniforme et un débit plus ou moins égal dans toutes les surfaces chauffantes. Par conséquent, il n'est pas nécessaire de régler le débit de chaque consommateur de chaleur lors de la mise en service.

Avantages :

- Perte de charge uniforme pour toutes les surfaces chauffantes
- Pas besoin de pré-réglage individuel des thermostats
- Toutes les surfaces chauffantes présentent les mêmes conditions de température, ce qui facilite le dimensionnement
- Toutes les surfaces chauffantes font la même taille, ce qui réduit le risque d'erreur sur le chantier de construction
- Convient bien aux chaudières à condensation et au chauffage urbain

Inconvénients :

- Conduites plus longues et au tracé plus compliqué
- Coûts de pompage légèrement plus élevés



Exemple d'installation de chauffage bitube avec retour inversé. Le type d'installation à retour inversé porte également le nom d'Albert Tichelmann, un ingénieur spécialiste de l'eau chaude.



Un bon climat intérieur est fondamental pour tous les bâtiments collectifs et tertiaires

Équilibrage de l'installation

Les installations hydrauliques peuvent se conformer aux exigences les plus strictes en matière de climat intérieur si elles sont bien conçues et correctement équilibrées. En pratique, voici les problèmes les plus courants :

- Les coûts énergétiques sont plus élevés que prévu
- La puissance installée n'est pas totalement transmise aux consommateurs
- Les températures varient
- Il fait trop chaud dans certaines parties du bâtiment et trop froid dans d'autres
- Régulation lente
- Délai très long pour atteindre les températures désirées le matin

Ces problèmes apparaissent souvent parce que la mécanique de la centrale de chauffage ne respecte pas les conditions nécessaires à une régulation stable et précise.

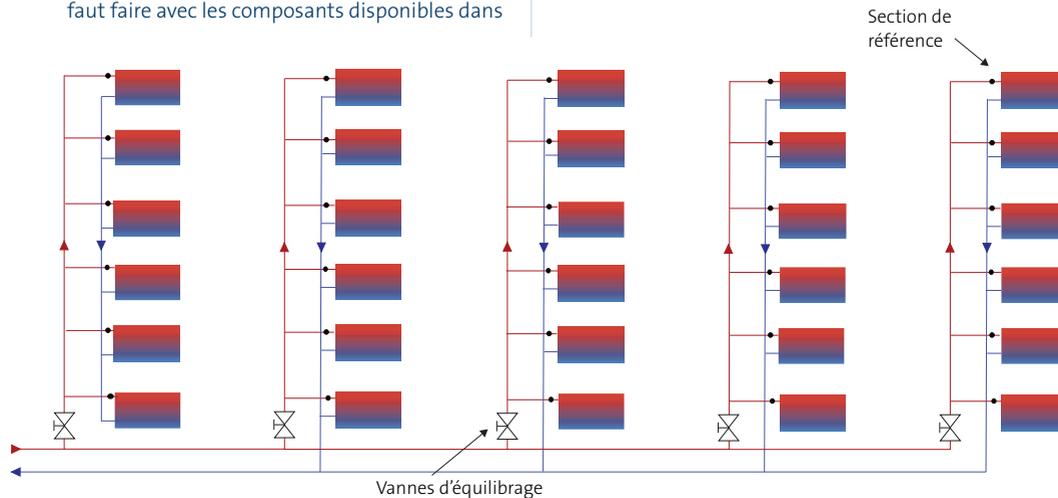
Il est indispensable de respecter trois conditions importantes pour assurer le bon équilibrage d'une installation :

- Le débit nominal doit être fourni en permanence à tous les consommateurs
- Les pressions différentielles au niveau des vannes de régulation doivent être stables
- Les débits d'eau au niveau des interfaces de l'installation doivent être égaux

Le débit nominal doit être fourni en permanence à tous les consommateurs

La chaleur fournie par un consommateur dépend de la température d'alimentation et du débit d'eau. Si la température est régulée au niveau de l'unité de production de chaleur ou par des boucles de mélange, le débit d'eau constitue le facteur déterminant pour la puissance de chauffe de chaque consommateur. Dans les situations où l'installation fonctionne à la charge théorique, un débit insuffisant entraîne une température insuffisante dans les pièces et un mauvais climat intérieur. En fait, la régulation est possible uniquement quand le débit nécessaire est disponible.

Les unités de production de chaleur, le circuit de distribution et les consommateurs sont souvent surdimensionnés pour assurer une marge de sécurité et réduire le risque d'un débit trop faible. Cette méthode permet de régler certains problèmes, mais elle en crée également d'autres, notamment dans le circuit de régulation. Le surdimensionnement est parfois inévitable car il faut faire avec les composants disponibles dans



Exemple d'installation bien équilibrée. Tous les radiateurs reçoivent un débit suffisant et uniforme grâce aux vannes d'équilibrage sur toutes les sections de l'installation. Les radiateurs doivent toujours être équipés de vannes thermostatiques avec un débit pré-réglé.

les gammes des fabricants. Ils ne correspondent pas toujours parfaitement aux calculs effectués. En fait, le seul composant pouvant être adapté au débit et à la pression réels est une pompe à vitesse variable.

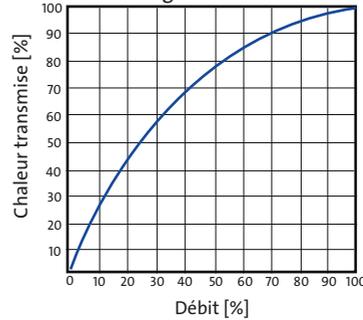
Pour équilibrer une installation de chauffage, on évacue toute la pression excédentaire dans les conduites de distribution, sauf dans la section présentant la perte de charge la plus élevée (section de référence). Cela permet d'assurer une distribution uniforme de l'eau dans les différentes parties de l'installation, mais il est alors indispensable d'équilibrer les vannes de toutes les sections.

L'équilibrage doit être effectué selon les conditions théoriques afin d'éviter l'apparition d'un débit trop faible dans un consommateur. Quand chaque consommateur de l'installation reçoit le débit nominal, la perte de charge de l'installation est au plus haut. Quand la charge, et donc le débit, diminue, la perte de charge dans la tuyauterie et les composants diminue de manière exponentielle, et la pression différentielle dans les composants augmente. Si le débit théorique est suffisant, il sera également suffisant pour toutes les autres conditions.

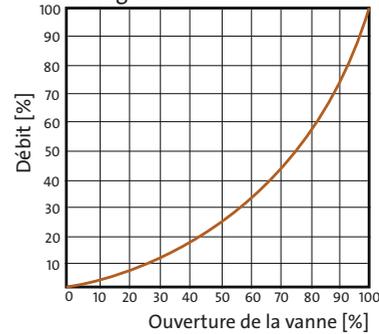
Les pressions différentielles au niveau des vannes de régulation doivent être stables

Le rôle des vannes de régulation est de réguler la chaleur transmise par les consommateurs, comme les radiateurs et les serpentins de chauffage, conformément au signal provenant du système GTB ou d'un autre dispositif de régulation. Ce rôle est tout sauf simple, car la plupart des consommateurs de chauffage présentent des courbes caractéristiques non linéaires. Cela signifie qu'une ouverture même faible de la vanne de régulation peut augmenter la chaleur transmise de façon disproportionnée. En choisissant une courbe caractéristique de vanne de régulation susceptible de compenser la non linéarité du consommateur, il est parfois possible de régler le problème. Ainsi, la puissance du consommateur est plus ou moins proportionnelle à l'ouverture de la vanne. Dans ce cas, la pression différentielle doit être constante, faute de quoi l'autorité de la vanne β diminue et la courbe caractéristique de la vanne de régulation est déformée. Dans les installations à débit variable, la pression différentielle au niveau de la vanne de régulation varie en fonction du débit. Quand le débit diminue, la perte de charge dans la tuyauterie et les composants diminue de manière exponentielle, et la pression différentielle dans la vanne de régulation augmente. Une augmentation de la pression différentielle déforme la courbe caractéristique de la vanne de régulation et donc la courbe cumulée. Le résultat est une baisse de l'autorité de la vanne de régulation, β , qui représente la déformation. L'autorité de la vanne, β , doit toujours être d'au moins 0,5. Plus l'autorité de la vanne est basse, plus la déformation est importante. Une vanne d'équilibrage montée en série avec la vanne de régulation choisie ne modifie aucun de ces deux facteurs, et n'affecte donc pas l'autorité de la vanne de régulation.

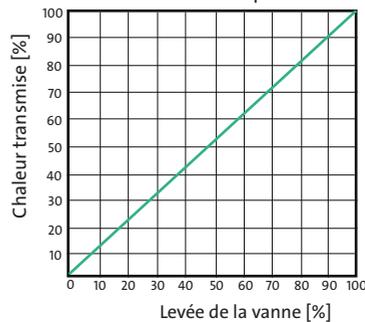
Courbe caractéristique du consommateur de chauffage



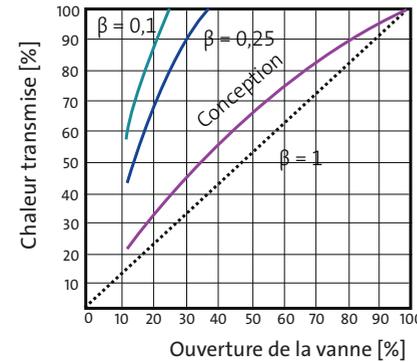
Courbe caractéristique de la vanne de régulation



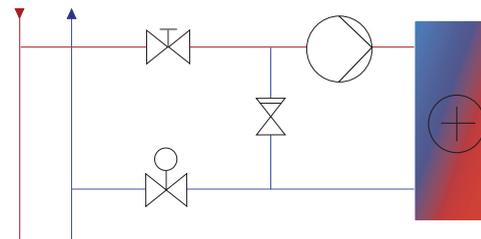
Courbe caractéristique commune



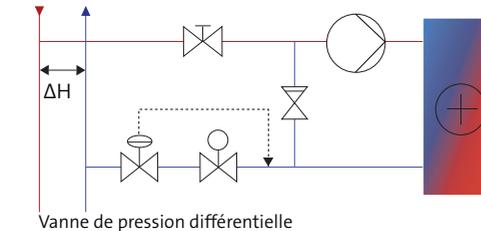
Combinaison réussie de courbes caractéristiques de régulation non linéaires d'un consommateur de chauffage et d'une vanne de régulation.



La baisse de l'autorité de la vanne diminue la capacité de la vanne à fonctionner correctement et peut entraîner de l'hystérésis, avec pour résultat des variations de température indésirables dans les pièces.



Vanne d'équilibrage dans le circuit primaire d'une boucle de mélange.



Une vanne de pression différentielle fait passer l'autorité de la vanne de régulation à 1,0.

$$\beta = \frac{\Delta p_v}{\Delta p_a} \text{ où}$$

β = Autorité de la vanne [-]

Δp_v = Perte de charge dans la vanne de régulation ouverte à 100 % pour le débit nominal [Pa]

Δp_a = Différence de pression disponible au niveau de la vanne de régulation fermée [Pa]

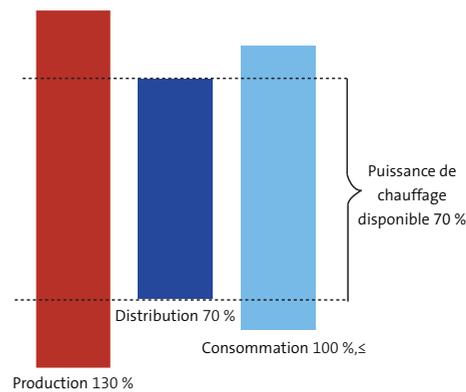
Les dimensions de vanne de régulation augmentent de 60 % entre chaque taille. $Kvs = 1,6 - 2,5 - 4,0 - 6,3 - 10 - 16 - 25 - 40$, etc. Ceci rend le dimensionnement difficile, avec pour conséquence un débit souvent trop élevé dans les différentes sections. L'équilibrage de l'installation avec une vanne d'équilibrage permet de garantir un débit correct dans les conditions de charge prévues.

Quand le circuit subit des variations importantes de ΔH , un régulateur de pression différentielle peut stabiliser la pression différentielle dans la vanne de régulation et permettre une régulation optimale en faisant passer l'autorité de la vanne à 1,0. Quand la pression différentielle augmente, la vanne opère une fermeture proportionnelle et maintient la pression différentielle de la vanne de régulation quasiment constante.

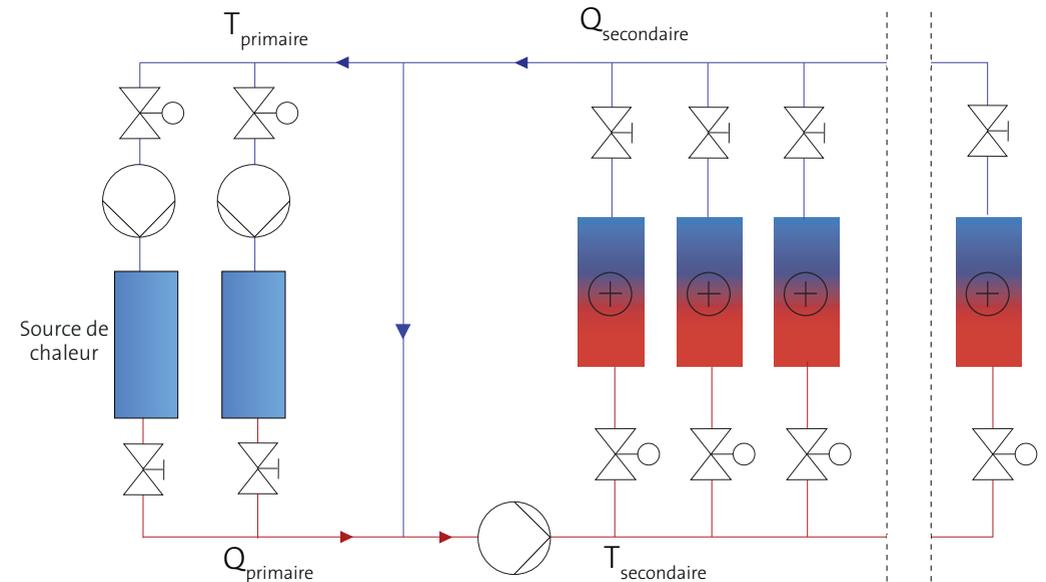
Les débits d'eau au niveau des interfaces de l'installation doivent être compatibles

Dans de nombreuses installations de chauffage, la chaleur produite disponible dépasse les besoins de 25 % ou plus, et ce, même en tenant compte d'un facteur de diversité. Néanmoins, les consommateurs de chauffage ne reçoivent pas toujours la chaleur souhaitée. S'il n'est pas possible d'atteindre la charge maximale, c'est souvent parce que la centrale n'est pas équilibrée sur le plan hydraulique. En cas de pic de consommation, la régulation s'ouvre à 100 %. Si les vannes sont surdimensionnées, il y aura un débit trop élevé dans certaines parties de l'installation, et un débit insuffisant dans d'autres. Ces circuits désavantagés ne sont pas en mesure de fournir la pleine charge lorsque c'est nécessaire. De plus, le flux de production est supérieur au flux du circuit de distribution. Dans ce cas, les flux sont incompatibles et il n'est pas possible d'obtenir la température d'écoulement souhaitée.

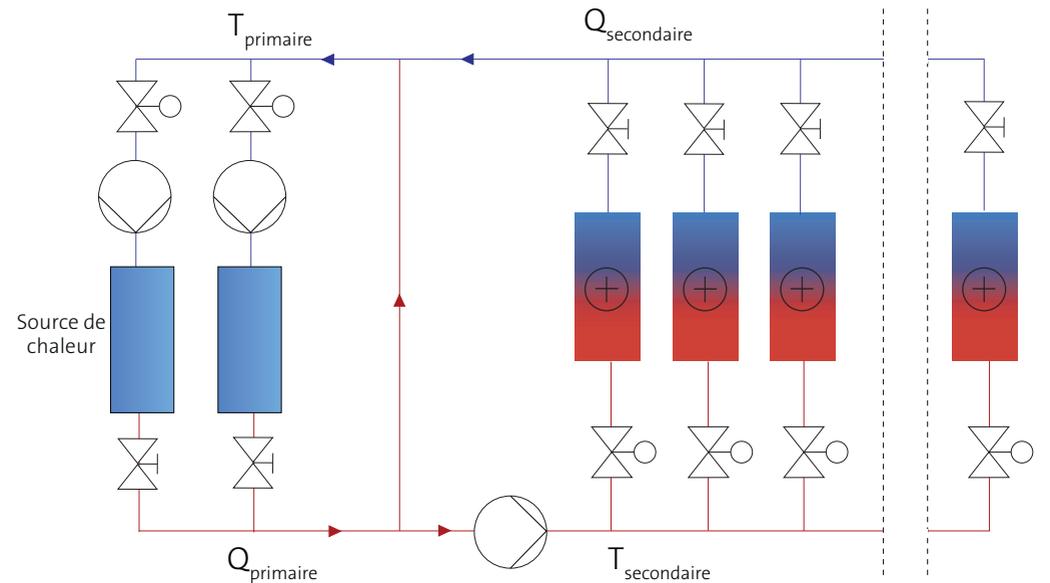
La figure ci-dessous montre une installation de chauffage avec deux chaudières et plusieurs unités de consommation. Si le circuit de distribution n'est pas équilibré, le débit maximal, $Q_{\text{secondaire}}$ peut être supérieur au débit de production, Q_{primaire} . Dans ce cas, le sens d'écoulement dans la dérivation s'inverse. La température d'écoulement d'eau diminue et l'échange de chaleur prévu ne peut avoir lieu.



Si la capacité de production, de distribution ou de consommation est insuffisante, l'installation ne pourra pas fournir la puissance de chauffage prévue lors de la conception.



Exemple d'une installation primaire/secondaire où le débit secondaire est supérieur au débit primaire.



Exemple d'une installation primaire/secondaire où le débit primaire est supérieur au débit secondaire. Le débit primaire doit toujours être égal au débit secondaire.

Consommateurs de chaleur

La transmission de l'énergie thermique est obtenue essentiellement par convection et/ou rayonnement, la conduction ne jouant qu'un rôle négligeable. La manière dont la chaleur est émise entraîne différentes perceptions de l'environnement thermique, comme des écarts de température importants dans l'air ou des courants d'air.

Serpentins de chauffage

Quand l'air est utilisé comme distributeur de chaleur, on crée un échange avec l'air d'entrée dans les serpentins de chauffage, qui font généralement partie de la centrale de traitement de l'air. Le serpentin est utilisé pour chauffer l'air frais qui est ensuite injecté dans le bâtiment. La distribution finale dans la pièce se fait en fonction des courants de convection à partir du diffuseur d'entrée. Cette technique permet un chauffage rapide et sensible. Souvent, la température de l'air soufflé est isotherme, c'est-à-dire qu'elle est identique à la température de la pièce. Dans ce cas, l'air ne peut pas être utilisé pour le chauffage, et d'autres émetteurs de chaleur sont nécessaires. Si l'air constitue le seul distributeur de chaleur sans système complémentaire, la température fournie doit être supérieure à la température de l'air de la pièce en tenant compte du taux de renouvellement, soit généralement de 8 ou 10 °C. Ce procédé complique la situation et présente le risque de réduire le confort thermique et d'augmenter le niveau de bruit. Dans les pièces hautes de plafond, il est difficile de faire en sorte que l'air chaud fourni atteigne la zone occupée, car il montera vers le plafond en raison de la force ascensionnelle. Des



Serpentin de chauffage à eau destiné à être intégré dans une centrale de traitement d'air. Il existe différents types de serpentins de chauffage, comme les surfaces chauffantes à vapeur et les serpentins électriques.

diffuseurs très puissants, capables de souffler l'air à une vitesse importante, sont alors indispensables, mais les courants d'air chauds peuvent être inconfortables. L'injection d'air présentant une température trop basse crée un mauvais climat intérieur du fait des courants d'air, des « points froids », etc. générés.

Pour calculer la capacité nécessaire pour le serpentin de chauffage, on a recours à la formule suivante :

$$\Phi = q_v \times \rho \times c_p \times (t_f - t_r) \quad \text{où}$$

- Φ = Demande de chaleur [kW]
- q_v = Débit d'air [m³/s]
- ρ = Densité de l'air [kg/m³]
- c_p = Capacité thermique de l'air [kJ/kgK]
- t_f = Température du flux d'air [°C]
- t_r = Température de retour de l'air [°C]

Pour pouvoir dimensionner la tuyauterie et calculer les pertes de charge dans l'installation hydraulique, il est indispensable de connaître le débit volumique Q. La formule suivante permet de déterminer le débit résultant dans le serpentin de chauffage :

$$Q = \frac{\Phi \times 3\,600}{\rho \times c_p \times (t_f - t_r)} \quad \text{où}$$

- Q = Débit d'eau [m³/s]
- Φ = Demande de chaleur [kW]
- ρ = Densité de l'eau [kg/m³]
- c_p = Capacité thermique de l'eau [kJ/kgK]
- t_f = Température du flux d'eau [°C]
- t_r = Température de retour de l'eau [°C]

Chauffage par le sol

Le chauffage par le sol, qui émet de la chaleur principalement par rayonnement, constitue une alternative intéressante au chauffage traditionnel par radiateurs. On emploie généralement des tuyaux de petit diamètre pris dans la dalle de béton sous la surface du sol. Cette solution est le plus souvent alimentée par une chaudière à condensation, un pompe à chaleur sol-eau ou le chauffage urbain.

Chauffer un bâtiment de cette façon permet de bénéficier d'une chaleur constante et uniforme au niveau du sol. Ce mode de chauffage offre un grand confort au niveau des pieds et des températures agréables. Il emploie de l'eau moins chaude que les installations à radiateurs pour maintenir la même température dans les pièces. Pour un confort optimal, la température de la surface du sol doit être comprise entre 25 et 32 °C. La température du flux est alors relativement basse. La différence de température obtenue est ainsi comprise entre 10 et 15 °C, ce qui est bien plus bas que dans le cas d'une installation à radiateurs.

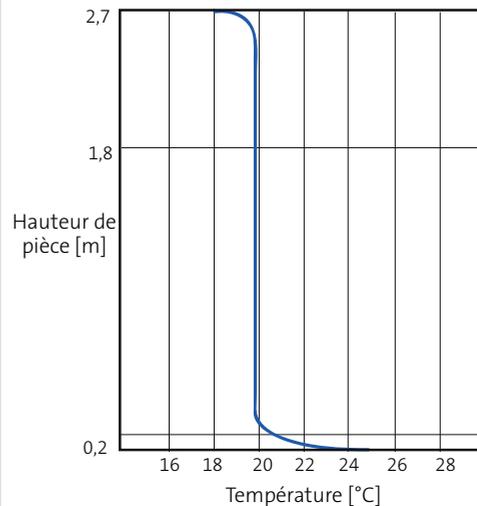
Comme les chaudières à condensation fonctionnent mieux à basse température, leur association avec le chauffage par le sol permet de réduire les coûts de chauffage. Les chaudières à condensation s'avèrent également plus rentables lorsqu'elles fonctionnent à basse température. Le chauffage par le sol se prête également très bien à une utilisation avec le chauffage solaire et les pompes à chaleur.

Il se caractérise par un faible gradient vertical de température d'air. Au-dessus du sol, la température se stabilise à une valeur donnée dans la zone de confort, qui se trouve précisément entre 0,2 m et 1,8 m au-dessus du sol. Si la température autour de la tête de la personne est élevée, et basse au niveau des pieds, cela génère de l'inconfort et de l'insatisfaction.

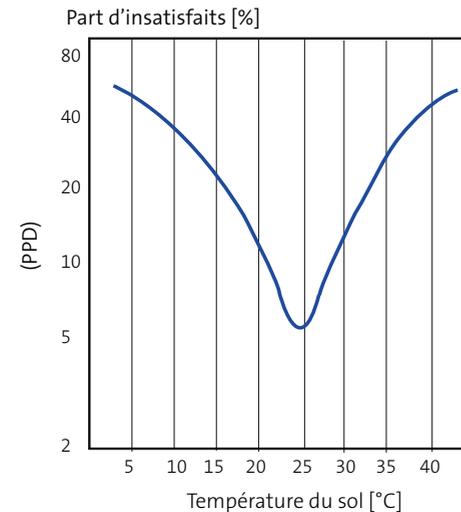
La chaleur est transmise à la pièce à 60 % par rayonnement, à 20 % par convection, et à 20 % par conduction. Chaque pièce possède un



Installation de flexibles de chauffage par le sol. Le tapis permet de maintenir les tuyaux en place avant de couler la dalle.



Gradient de température de l'air dans les pièces équipées d'un chauffage par le sol.



Pourcentage prévisible d'insatisfaits en fonction de la température du sol

ou plusieurs circuits qui sont généralement régulés par un thermostat d'ambiance.

Capacité d'une installation de chauffage par le sol :

$$\Phi = \alpha \times A \times (t_s - t_a) \quad \text{où}$$

- Φ = Flux thermique [kW]
- α = Coefficient de transmission thermique surfacique [W/m²K]
- A = Surface au sol (m²)
- t_s = Température à la surface du sol [°C]
- t_a = Température de l'air de la pièce [°C]

Le coefficient de transmission thermique surfacique du sol est fixé entre 9,5 et 10,2 selon le type de revêtement de sol.

La température maximale recommandée au sol dépend de l'utilisation	
Ateliers, cuisines industrielles	25 °C
Bureaux, salons et zones résidentielles	28 °C
Halls	30 °C
Stades nautiques, vestiaires	32 °C

Le graphique montre la relation entre la température au sol et le pourcentage de personnes insatisfaites en raison de l'inconfort thermique, il montre donc pourquoi la température au sol revêt une importance cruciale. Dans les environnements où les personnes restent assises ou travaillent, la température de la surface du sol doit être très stable. Il n'est cependant jamais possible d'obtenir 100 % de personnes satisfaites, il y aura toujours au moins 5 % des personnes présentes qui ressentiront un certain inconfort thermique en raison de la température au sol.

Mais dans des endroits comme les vestiaires ou équivalents, où les gens sont pieds nus, des températures au sol élevées sont jugées acceptables, car les personnes y restent peu de temps.

Débit d'eau dans une installation de chauffage par le sol :

$$Q = \frac{\Phi \times 3600}{\rho \times c_p \times (t_f - t_r)} \quad \text{où}$$

- Q = Débit d'eau [m³/s]
- Φ = Demande de chaleur [kW]
- ρ = Densité de l'eau [kg/m³]
- c_p = Capacité thermique de l'eau [kJ/kgK]
- t_f = Température du flux d'eau [°C]
- t_r = Température de retour de l'eau [°C]

Dans l'exemple de la page 17, les formules évoquées plus haut ont été appliquées au calcul de la température du flux d'eau et au débit d'une installation de chauffage par le sol.

Ventilo-convecteurs

Contrairement au serpentin de chauffage, un ventilo-convecteur est un serpentin de chauffage indépendant et non canalisé équipé de ventilateurs. Comme le ventilo-convecteur n'est pas raccordé à un réseau de ventilation, il fait recirculer et réchauffe l'air de la pièce où il se trouve, il ne fournit pas d'air frais. Les ventilo-convecteurs doivent être utilisés pour chauffer principalement des entrepôts, des parkings, des halls, des hangars, etc., avec de grands espaces à chauffer, mais dans lesquels la qualité du climat intérieur n'a aucune importance.



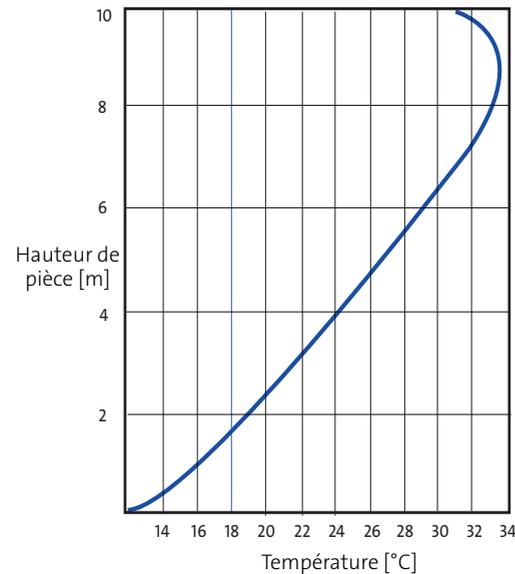
Ventilo-convecteur

Avantages :

- Faible coût d'investissement
- N'occupe aucun espace au sol

Inconvénients :

- Risque de courants d'air en raison de vitesses d'air élevées
- Important gradient vertical de température
- Les ventilateurs sont bruyants
- Coûts de fonctionnement élevés par rapport au chauffage hydraulique (radiateurs, chauffage par le sol)
- Chauffage peu performant dans les pièces hautes de plafond



Gradient de température de l'air dans les pièces équipées d'un chauffage par ventilo-convecteurs.

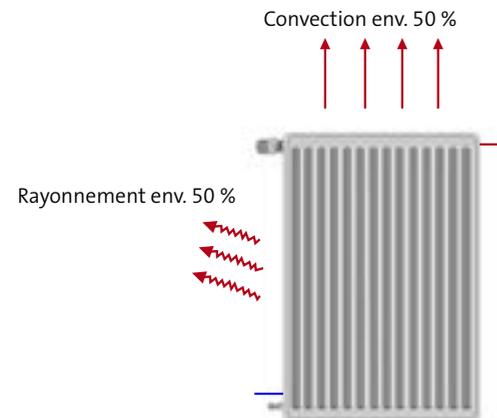


Schéma illustrant l'émission de chaleur des radiateurs

Capacité d'un ventilo-convecteur :

$$\Phi = q_v \times \rho \times c_p \times (t_u - t_i) \quad \text{où}$$

- Φ = Demande de chaleur [kW]
- q_v = Débit d'air [m³/s]
- ρ = Densité de l'air [kg/m³]
- c_p = Capacité thermique de l'air [kJ/kgK]
- t_u = Température de l'air sortant [°C]
- t_i = Température de l'air entrant [°C]

Les espaces chauffés par des ventilo-convecteurs se caractérisent par des écarts verticaux de température d'air très importants. Les ventilo-convecteurs ne conviennent donc pas au chauffage d'espaces de bureaux, pour lesquels un climat intérieur confortable est nécessaire. Néanmoins, les ventilo-convecteurs sont très utilisés pour la climatisation dans tous les environnements. Dans ce cas, l'air froid descend de lui-même dans la zone de confort, et on obtient un écart vertical acceptable pour la température de l'air.

Radiateurs et convecteurs

Un radiateur est une surface chauffante qui transmet la chaleur par la combinaison du rayonnement thermique et de la convection. Le transfert de chaleur d'un radiateur est généralement réparti entre le rayonnement thermique et la convection, mais cela peut varier en fonction du type de radiateur.

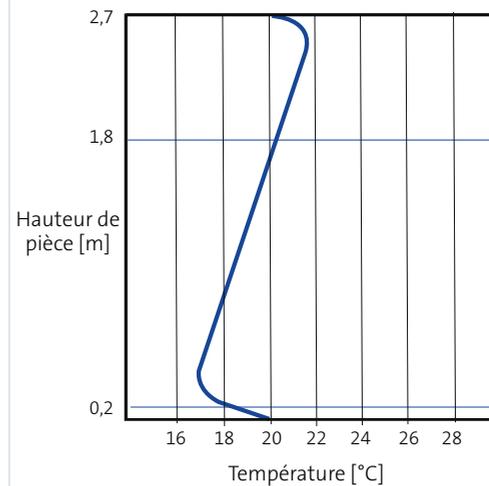
Le rayonnement est avantageux sur plusieurs plans. Tout d'abord, il assure une sensation thermique plus uniforme quand les surfaces sont également chauffées. Deuxièmement, un système rayonnant peut atteindre la même température de service avec une température de l'air plus basse. Dans les bâtiments industriels avec des débits de ventilation importants, comme les entrepôts et les hangars, une baisse minimale de la température de l'air peut réduire considérablement les pertes par ventilation, et donc la consommation d'énergie pour le chauffage.

Les radiateurs peuvent être équipés de panneaux de convection à l'arrière ou entre les panneaux radiants afin de transférer une quantité de chaleur plus importante par convection. Ainsi, la capacité thermique totale augmente. Les radiateurs représentent une bonne solution pour de nombreux bâtiments : ils assurent un chauffage rapide, bon marché et polyvalent. La séparation du chauffage et de la ventilation en cas d'utilisation d'installations hydrauliques comme les radiateurs permet de stopper la ventilation quand la qualité de l'air intérieur n'a pas d'importance, réduisant ainsi potentiellement la consommation d'énergie. C'est notamment le cas lorsque vous souhaitez préchauffer la pièce avant que des personnes n'y entrent, ou si vous avez recours à une stratégie de ventilation naturelle. La capacité thermique d'un radiateur dépend de la différence de température entre le fluide qui circule dans le radiateur et l'air de la pièce. La capacité thermique nominale d'un radiateur est définie pour un ensemble de conditions standard telles que les températures d'alimentation, de retour et de la pièce. On peut calculer la puissance de chauffe réellement fournie par un radiateur donné pour un ensemble donné de conditions non standard à l'aide de tableaux de conversion ou d'exposants de radiateur.

Les installations hydrauliques à radiateurs se caractérisent par des gradients verticaux de température modérés. À partir de quelques centimètres au-dessus du sol, la température finit par se stabiliser. Dans la zone de confort, qui est comprise entre 0,2 m et 1,8 m au-dessus du sol, cet aspect très important.



Il existe de nombreuses tailles et formes de radiateurs





98936932 / 0715

Le nom Grundfos, le logo Grundfos et le slogan être penser innover sont des marques déposées de Grundfos Holding A/S ou de Grundfos A/S au Danemark. Tous droits réservés dans le monde entier.

POMPES GRUNDFOS DISTRIBUTION S.A.S
Parc d'Activités de Chesnes
57, rue de Malacombe
38070 ST-QUENTIN-FALLAVIER
Tél. 04 74 82 15 15
fr.grundfos.com

GRUNDFOS 