

2- Systemes de chauffage

2.1- Introduction

D'une façon générale, nous pouvons classer les systemes de chauffage comme suit:

- Chauffage *individuel* (ou *ponctuel*): le générateur de chaleur est placé dans le local même à chauffer. L'utilisateur est "maître chez lui", choisit sa période de chauffe, règle selon son goût mais doit assurer l'entretien; la régulation est simplifiée, les logements devant par contre être isolés entre eux pour éviter de chauffer le voisin et il semble que ce principe procure une économie d'énergie. Ce systeme, mal adapté à l'usage du fuel, convient bien pour le gaz.
- Chauffage *collectif*: l'utilisateur n'a plus aucun souci d'entretien mais doit se plier à une discipline collective; la consommation est importante par suite des pertes thermiques qu'il est pratiquement impossible d'éliminer; une chaufferie est nécessaire.

Dans le cas d'un chauffage central, il n'est prévu qu'un seul générateur de chaleur pour l'ensemble des pièces d'une même construction, ce générateur de chaleur pouvant se composer d'une ou plusieurs chaudières généralement disposées en sous-sol, chaque pièce étant équipée de surfaces de chauffe dont il existe de nombreux types.

Lorsqu'il s'agit d'un systeme de chauffage de type urbain, il n'est prévu qu'une chaufferie centrale pour tout un ensemble de maisons ou d'immeubles parfois même pour tout un quartier.

Il existe enfin des systemes de chauffage particuliers utilisant l'énergie de l'environnement; à savoir:

- le chauffage par pompe à chaleur,
- le chauffage par l'énergie solaire et autres énergies alternatives.

Les combustibles utilisés sont généralement:

- le gaz basse pression (BP) de provenances diverses;

- le fuel domestique.

2.2- Chauffage ponctuel

On distingue principalement les systèmes suivants:

2.2.1- Appareil de chauffage indépendant à gaz

Le chauffage à gaz par appareils indépendants s'est considérablement développé ces dernières années en raison de l'extension des réseaux de distribution de gaz. Les appareils de chauffage à gaz sont de plus en plus utilisés dans les appartements indépendants et sont quasi-présents dans le secteur du bâtiment.

Le chauffage à gaz convient parfaitement même lorsque le coût du combustible est assez élevé pour le chauffage intermittent de salles de classe, salles d'attente, cuisines, salles de bains, salles de réunions, halls d'exposition, chambres d'hôtels, etc.

Les avantages du chauffage au gaz sont:

- fonctionnement simple, surtout en cas de régulation automatique;
- mise en température rapide;
- fonctionnement propre;
- disponibilité immédiate;
- pas de provisions de combustible;
- le compteur à gaz permet de connaître rapidement le coût;
- pas de cheminée pour les poêles situés sur les parois extérieures;
- le combustible n'est payé qu'après utilisation;
- pas de pollution de l'air ambiant.

Les appareils indépendants à gaz sont classés de différentes façons:

- d'après le type de gaz utilisé (naturel, butane, propane);
- d'après le type d'appareil (rayonnement, convection, combiné, au sol, d'applique);
- d'après le mode d'évacuation des produits de combustion (par conduit de fumée, par circuit étanche de combustion);

- Différents modèles:

On distingue deux types d'appareils: *appareils à rayonnement* qui, comme leur nom l'indique, émettent la plus grande partie de leur chaleur par rayonnement et les *appareils à convection* dont la chaleur est évacuée par ce mode de transfert.

- *Appareils destinés au chauffage de petits volumes.* De tels appareils sont très répandus dans certains pays à climat relativement doux, comme l'Angleterre, où ils permettent le chauffage de pièces de volume assez faible: appartements, salles de classe, chambres d'hôtel, etc. Ces appareils ne conviennent pas pour un chauffage continu.

- *Appareils destinés au chauffage de grands volumes.* Il s'agit de panneaux radiants très utilisés pour les églises, gymnases, halls d'usine, etc.

Dans un panneau radiant, la quantité de chaleur restituée sous forme rayonnante est d'au moins 45% et provient le plus souvent d'éléments en céramique ou de tout autre matériau porté à haute température. Le mélange de gaz et d'air pénètre dans les éléments en céramique par l'intermédiaire d'injecteurs et, grâce à des catalyseurs, brûle sans laisser de traces d'où des températures de surface de 800 à 900 °C.

L'évacuation des gaz brûlés qui contiennent du CO₂ et dans les cas plus défavorables du CO et du N₂ peut se faire soit indirectement après mélange avec l'air ambiant par des ouvertures situées au dessus des panneaux radiants (il faut alors prévoir, suivant l'architecture du volume 14 à 24 m³/h par kW de puissance nominale) soit directement par raccordement à une cheminée ou à un dispositif d'évacuation mécanique.

Le rendement global se situe entre 89 et 90% lorsque l'évacuation des gaz brûlés est de type indirect (entrepôts, halls de montage, etc.) et entre 65 et 80% lorsque les gaz brûlés sont évacués par des conduits (gymnases, salles de réunion, etc.).

Le local dans lequel est placé un panneau radiant doit avoir un volume d'au moins 10 m³ par kW de puissance. Prévoir une distance respectable des matériaux combustibles.

En vue d'obtenir des puissances importantes on peut réaliser un "*groupe de panneaux*", c'est-à-dire un appareil formé de panneaux unitaires et ne comportant qu'un seul organe de commande d'amenée de gaz ou encore un "*assemblage de panneaux*", c'est-à-dire un appareil formé de plusieurs panneaux unitaires pouvant fonctionner isolément ou par groupes et comportant plusieurs organes de commande d'amenée de gaz.

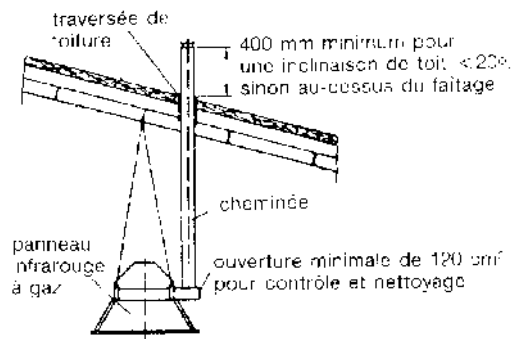


Figure 2.1- Evacuation des gaz par cheminée.

2.2.2- Appareil de chauffage indépendant au fuel

Ces appareils représentaient, quand le fuel était bon marché, une grande part du marché. Actuellement, ils sont moins utilisés bien que représentant un bon nombre d'avantages par rapport aux poêles à charbon: propreté, entretien réduit, mise en température rapide, bonnes possibilités de régulation, stockage du combustible peut encombrant. Pour ces raisons, il y a de fortes chances pour que leur emploi se maintienne à l'avenir.

- Principe de fonctionnement:

Le fuel provenant d'une réserve située à côté ou à l'intérieur du poêle traverse d'abord un réservoir à flotteur qui maintient le niveau du liquide constant. De ce réservoir le fuel parvient par un robinet de réglage dans le brûleur à gazéification où les vapeurs de combustible brûlent au fur et à mesure de leur formation. Les gaz brûlés ascendants traversent le corps de chauffe et sont évacués dans le carneau puis la cheminée.

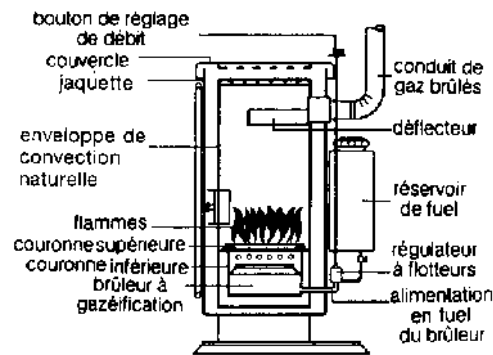


Figure 2.2- Schéma d'un poêle à fuel équipé d'un brûleur à gazéification.

Ces appareils doivent être utilisés avec un maximum de sécurité car la combustion du fuel dégage du CO_2 , du SO_2 et de la vapeur d'eau. De plus, ils sont à l'origine d'odeurs et donc ne conviennent que pour des locaux parfaitement ventilés. Enfin, les risques d'incendies sont énormes avec ce type de chauffage.

2.2.3- Appareils de chauffage indépendants électriques

Le chauffage électrique des locaux se présente sous différentes formes:

- Le *chauffage direct*, auquel cas l'énergie électrique provenant par exemple d'une prise de courant est directement transformée en chaleur utile. En fonction du coût de l'électricité, l'utilisation de ce mode de chauffage est plus ou moins répandue: ainsi est-il fréquemment utilisé dans les pays nordiques, assez en France et rarement en Allemagne Fédérale où de toutes façons il ne sert alors que d'appoint ou en chauffage intermittent.

Les appareils de ce type cèdent la chaleur produite directement ou avec un décalage très faible au local à chauffer. Fonctionnant à tout moment, ils surchargent alors le réseau même pendant les heures de pointe, c'est pour cette raison que la puissance est limitée par exemple à 2 kW par appartement en Allemagne Fédérale.

On distingue plusieurs types de chauffages électriques directs: transportables (2 kW max.), fixes à rayonnement (700°C), fixes à convection ($95 - 160^\circ\text{C}$), fixes à convection forcée (ventilateur) et surfaces chauffantes telles que plafonds et murs (30 à 80 W/m).

- Le *chauffage à accumulation*, pour lequel une masse accumulative qui se charge d'emmagasiner de la chaleur pendant les périodes où l'électricité est le meilleur marché (heures creuses de nuits) du fait de la moindre surcharge du réseau. De toutes les façons, il n'est pas certain que ce type de chauffage puisse toujours bénéficier à l'avenir d'un tarif véritablement préférentiel!. En effet, la compagnie d'électricité ne vend ce courant moins cher que dans la mesure où il correspond à un creux des courbes de consommation du réseau.

On distingue deux modèles de chauffages électriques à accumulation: les appareils de type statique qui émettent la chaleur par la surface (couloirs, entrepôts) et ceux de type dynamique dont la chaleur est évacuée par circulation autour du noyau chaud grâce à une turbine tangentielle. Leur isolation thermique est très importante et il cèdent donc très peu de chaleur par leur surface. Le maintien de la température de l'air soufflé à une valeur constante s'effectue par mélange d'air chaud et d'air ambiant recyclé.

Un autre type c'est développé récemment, c'est le chauffage électrique à accumulation par le sol. Dans une telle installation, on dispose dans le plancher même des conducteurs électriques qui, mis sous tension en heures creuses, vont permettre d'accumuler une certaine quantité de chaleur.

- Le *chauffage par pompe à chaleur*, qui s'inscrit dans le cadre des économies d'énergie puisqu'à puissance calorifique égale, la consommation d'énergie n'est que de 35 à 45% par rapport à un chauffage électrique par résistance.

Les principaux avantages du chauffage électrique sont les suivants:

- entretien très réduit, fonctionnement propre, pas de pollution de l'air, pas de stockage de combustible, quantités consommées facilement mesurables;
- ne nécessite aucune autre alimentation secondaire avec ces tuyauteries (gaz, eau chaude, ...).

2.3- Chauffage central

Ce mode de chauffage se distingue des précédent par le fait qu'il n'y a pour tout ensemble de locaux à chauffer qu'un seul foyer (appelé chaufferie) situé hors de ces locaux, généralement en sous-sol, et que la chaleur produite est distribuée aux différents locaux par l'intermédiaire d'un fluide caloporteur. On utilise pour ce dernier de l'eau, de la vapeur d'eau ou de l'air.

Les avantages du chauffage central sont:

- réduction du nombre de foyers et de cheminées;
- pollution atmosphérique moins importante;
- pas de manipulation de combustible ou de cendres dans les logements;
- très bonne rentabilité d'utilisation du combustible;
- volume occupé par les corps de chauffe réduit
- maintenance minimale.

Les inconvénients du chauffage central sont:

- frais d'installation plus élevés;
- difficultés de répartition des frais de chauffage entre appartements;
- frais d'exploitation plus importants avec toutefois un confort accru.

2.3.1- Chauffage à eau chaude

Ce type de chauffage utilise de l'eau à une température maximale de 110 °C comme fluide caloporteur. L'eau réchauffée dans la chaudière est véhiculée vers les corps de chauffe par l'intermédiaire de canalisations, elle se refroidit en cédant sa chaleur puis retourne à la chaudière et le cycle recommence.

Le chauffage à eau chaude est le système de chauffage central le plus utilisé, en particulier dans les constructions neuves et le chauffage à eau chaude accélérée de type fermé.

Avantages:

- simplicité d'emploi;
- très grande sécurité de fonctionnement;
- chauffage tempéré et agréable par suite de la température superficielle peu élevée des corps de chauffe;
- régulation centrale par variation de la température de l'eau;
- risques de corrosion réduits et donc bonne tenue des installations dans le temps;

Inconvénients:

- grande inertie et par conséquent mise en régime lente;
- frais d'installation importants;
- danger de gel.

2.3.1.1- Chauffage central par thermosiphon

La chaudière dans laquelle se fait la production de la chaleur est située au point le plus bas de l'installation et elle est reliée aux corps de chauffe par un réseau de tuyauteries (Fig.2.3).

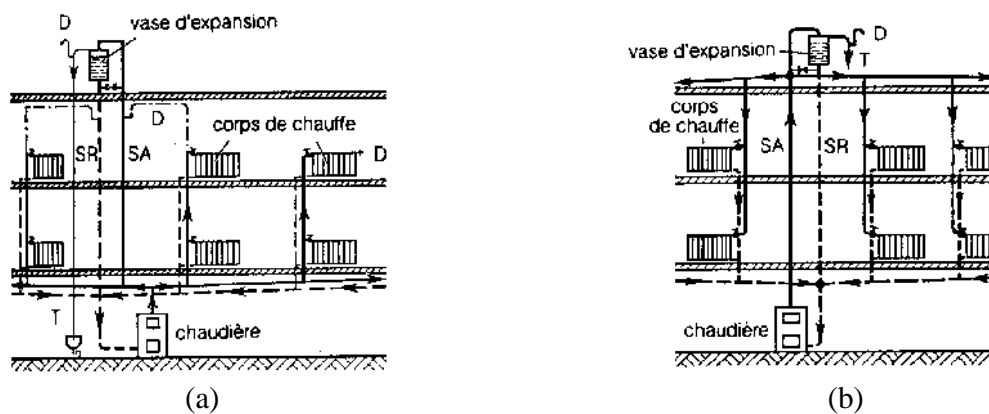


Figure 2.3- Chauffage à eau chaude ouvert par thermosiphon

(a) : avec distribution inférieure (en chandelle) par 2 tuyaux.

(b) : avec distribution supérieure (en parapluie) par 2 tuyaux.

L'eau se refroidit après son passage dans les corps de chauffe et retourne alors à la chaudière. La circulation de l'eau n'est donc assurée que par la différence de densité de l'eau qui est chaude à l'aller et plus froide au retour. Pour une température aller de 90 °C et une température retour de 70 °C, la différence de pression disponible pour vaincre la résistance de l'écoulement des tubes (pertes de charge) n'est que de 1.25 mbar/m de hauteur. La dilatation de l'eau au cours de son réchauffage est absorbée par un vase d'expansion ouvert (Fig. 2.4).

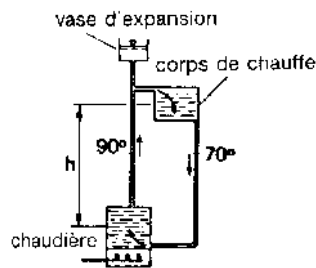


Figure 2.4- Schéma de principe d'un chauffage en thermosiphon.

Tous les chauffages fonctionnant en thermosiphon présentent de gros inconvénients:

- ils sont difficiles à réguler surtout dans le cas d'une chaudière à fuel ou à gaz;
- ils nécessitent des tuyauteries de gros diamètre, chères et présentant au surplus une inertie importante.
- les possibilités de disposition du circuit sont réduites.

C'est ce qui explique qu'on ne prévoit actuellement des installations en thermosiphon que dans de rares cas (pour de très petites installations au coke ou lorsqu'on ne dispose pas de courant électrique. Dans les installations en thermosiphon transformées après coup en installations avec pompe, le réglage de l'ensemble doit être fait avec beaucoup de précision, le dimensionnement des tuyauteries étant très différent d'un cas à l'autre.

2.3.1.2- Chauffage à eau chaude accélérée

La principale caractéristique de ce type de chauffage provient du fait que la circulation de l'eau chaude est assurée par une pompe.

Avantages:

- mise en régime rapide; faible inertie;
- amélioration de la régulation globale et locale; facilité de mélange entre aller et retour;
- la pompe développe une force motrice de 10 à 100 fois plus forte que le thermosiphon (500 à 5000 mm CE), l'eau circule plus vite ce qui permet de diminuer la section de la tuyauterie et par suite son prix;
- cette force motrice est la même pour tous les radiateurs quelle que soit leur hauteur. On peut donc faire un réglage central du débit au départ de la chaudière, sans avoir besoin de régler

séparément les robinets d'admission de chaque radiateur, comme il est nécessaire en thermosiphon;

- l'eau circule aisément dans tous les radiateurs;
- le système à thermosiphon refuse de fonctionner pour la moindre erreur ou étourderie dans les calculs d'équilibrage. La marge de distraction permise est beaucoup plus grande pour le technicien qui calcule l'installation de chauffage par pompe. Un tel système a bon caractère et fonctionne en dépit d'un diamètre mal choisi;
- la pompe ne consomme qu'une minime quantité d'énergie;
- faibles pertes calorifiques par suite des diamètres plus faibles;
- possibilité de disposer les tuyauteries à volonté;
- réseau bon marché.

Inconvénients:

- entretien important;
- tributaire de l'alimentation en courant électrique;
- besoin constant d'électricité.
- si la pompe tombe en panne, le système se met à fonctionner en thermosiphon; mais la canalisation est trop étroite pour une si faible force motrice, les pertes de charge augmentent brusquement; l'eau circule mal, pas du tout dans certains circuits. Ne se refroidissant pas suffisamment, elle se met à bouillir dans la chaudière, la vapeur s'échappant par le vase d'expansion. La chaudière risque de se vider. Le remède consiste à installer un réglage automatique de la chaudière accouplée à la pompe. De cette façon, si la pompe s'arrête, la chaudière est immédiatement mise en veilleuse.
- si les calculs ont été mal faits et les résistances surestimées à l'intérieur des tuyauteries (l'expérience montre que ces résistances sont souvent surestimées de 100%), l'eau circulera trop vite (sa vitesse ne doit pas dépasser 1 m/s) et fera vibrer les tuyaux, ce qui provoque des bruits forts désagréables.
- Les radiateurs situés près de la pompe sont soumis de ce fait à une très forte pression. Parfois les calculs conduisent à adopter, pour équilibrer cette pression, une tuyauterie de faible diamètre (15x21), ce qu'il ne faut jamais faire pour deux raisons: d'une part, des tuyaux trop étroits

s'obstruent facilement (corps étrangers, dépôt de calcaire...) et, d'autre part, si la pompe tombe en panne, la force motrice du thermosiphon est insuffisante à vaincre la résistance de ces trop minces conduits. En gardant des tuyaux suffisamment larges, on peut cependant équilibrer le réseau en adoptant le montage dit "*Tichelmann*" qui consiste à donner la même longueur, c'est-à-dire la même résistance à tous les circuits, quelle que soit dans chacun d'eux la place du radiateur.

- en raison de la plus grande vitesse de l'eau, il est difficile de la débarrasser de l'air qu'elle véhicule. Il est alors nécessaire de placer aux points hauts des colonnes un évasement (qu'il est possible de purger). Dans cet évasement, la vitesse de l'eau diminue et l'air s'échappe.

La température aller maximale a longtemps été prise égale à 90 °C mais actuellement et pour des raisons d'économies d'énergie, on peut partir dans les calculs d'une température maximale de 65 ou 70 °C (chauffage dit à basse température). La dilatation de l'eau et emmagasinée soit par un réservoir ouvert (vase d'expansion) soit par un réservoir fermé (vase à membrane).

On distingue dans les systèmes de chauffage à eau chaude accélérée deux types d'installations du point de vue réseau de tuyauteries:

- **Système à un réseau de tuyauterie:** Le système à un tuyau avec corps de chauffe en série (système continu) est le plus simple et le moins cher, surtout pour les maisons individuelles. L'eau chaude traverse les corps de chauffe les uns après les autres (Fig.2.5) et dans ce cas, la pression de refoulement de la pompe doit être plus élevée.

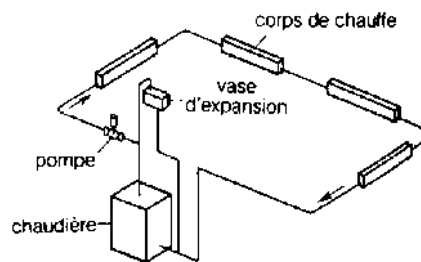


Figure 2.5- Système de chauffage à eau chaude monotube avec corps de chauffe en série.

Le problème avec ce type d'installation est qu'on ne peut généralement pas régler la puissance calorifique des différents corps de chauffe car la température de l'eau diminue après chaque corps de chauffe traversé. On améliore sensiblement ce système en disposant les corps de

chauffe en *dérivation* sur chaque circuit de distribution et en les équipant de *vannes de régulation* (Fig.2.6, 2.7 et 2.8). Ce qui permet alors de régler l'émission de chaque corps de chauffe. Pour cela il existe de nombreuses variantes:

- monter des *tés de réglage* sur les tuyauteries de dérivation, mais ils sont de moins en moins utilisés car leur perte de charge est élevée;
- placer des *manchons de réduction* en té sur le circuit principal, au raccordement du corps de chauffe;
- monter un *té-éjecteur* (Fig.2.9) sur la tuyauterie principal, au raccordement du retour; il aspire alors dans le radiateur le débit d'eau nécessaire. Leur dimensionnement se fait à partir des tables de constructeurs.

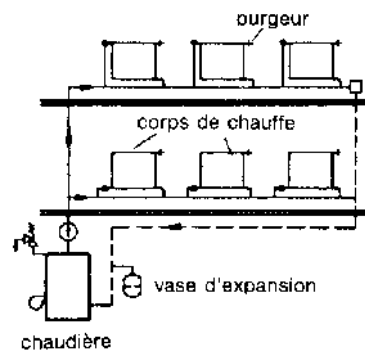


Figure 2.6- Chauffage monotube à corps de chauffe montés en dérivation et vase d'expansion à membrane.

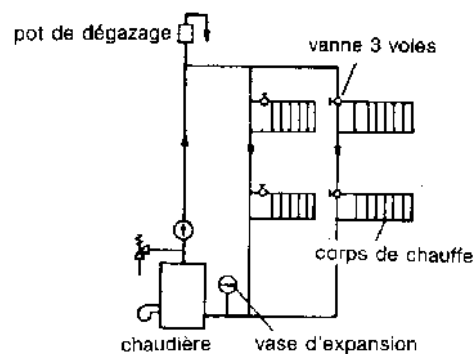


Figure 2.7- Chauffage monotube vertical à corps de chauffe montés en dérivation et vanne de régulation.

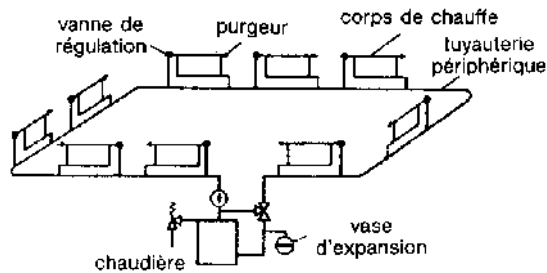


Figure 2.8- Chauffage monotube horizontal à corps de chauffe montés en dérivation.

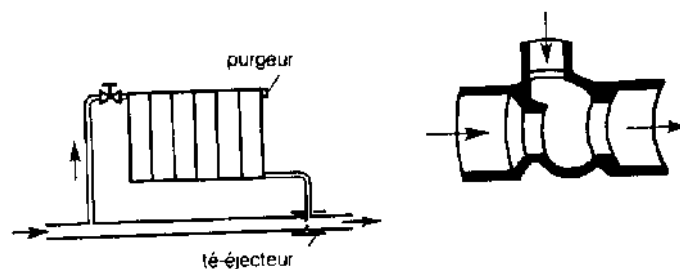


Figure 2.9- Té-éjecteur en bronze pour raccords brasés.

- les *vannes 3 voies* permettent de laisser passer dans le corps de chauffe un volume d'eau bien défini; de même pour les *vannes 4 voies*;
- Il existe aussi des *vannes spéciales* pour chauffage à un tuyau que l'on emploie maintenant presque toujours car leur montage est très simple. Il existe également des vannes spéciales pour régulation automatique.

On peut disposer les colonnes, pour le système à un tuyau, soit horizontalement soit verticalement. Chaque disposition ayant ses avantages mais les deux ont des inconvénients communs:

- le réglage d'un corps de chauffe modifie celui des autres;
 - nécessité d'effectuer les calculs avec précision;
 - surfaces de chauffe plus importantes.
- **Système à 2 tuyaux:** C'est le système de distribution de chaleur le plus courant. Chaque corps de chauffe est raccordé séparément aux tuyauteries aller et retour séparées et la température de l'eau qui les alimente est pratiquement la même pour chacun d'eux. La régulation de la puissance

calorifique se fait en agissant sur le débit d'eau au moyen de *robinets de réglage*. La distribution de l'eau chaude peut se faire soit par le bas (Fig.2.10), soit par le haut (Fig.2.11).

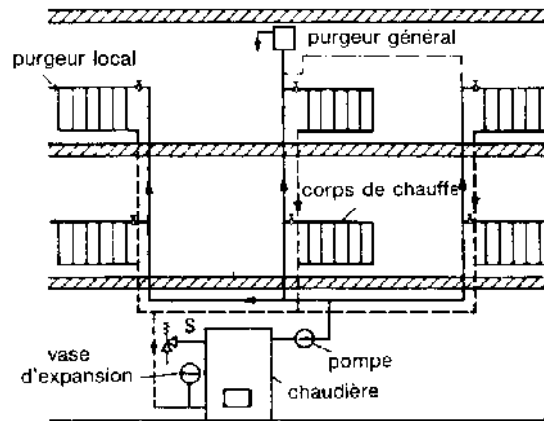


Figure 2.10- Chauffage à eau chaude accélérée de type fermé à distribution inférieure.

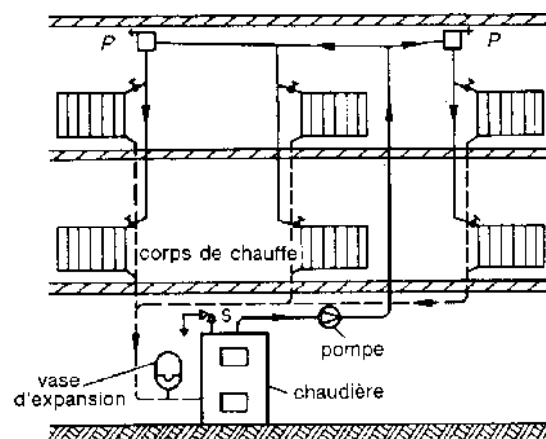


Figure 2.11- Chauffage à eau chaude accélérée de type fermé à distribution supérieure.

La distribution supérieure est utilisée lorsqu'il n'y a pas de place en sous-sol pour faire filer les canalisations alimentant les tronçons ascendants. La distribution inférieure est meilleur marché mais permet une mise en température moins rapide que la distribution supérieure.

Remarque:

La présence de l'air dans les tuyauteries ou les corps de chauffe est souvent à l'origine de perturbations dans la circulation ainsi que de corrosions et de bruits. La teneur de l'eau en air est fonction de la pression et de la température. Pour une pression effective de 1 bar, de l'eau à 10 °C

en contient environ 43 l/m^3 , à $90 \text{ }^\circ\text{C}$ seulement 20 l/m^3 . L'opération du *dégazage* est donc des plus importantes et elle est d'autant plus difficile que la vitesse de l'eau est élevée. La purge de l'installation peut se faire d'un point central ou localement.

2.3.1.3- Chauffage à eau chaude intégré dans les parois

On appelle chauffage intégré dans les parois un système de chauffage dans lequel l'émission de chaleur dans les pièces se fait à partir de surfaces du locales chauffé, par exemple plafond, plancher ou parois latérales. Ce type de chauffage utilise généralement l'eau chaude comme fluide caloporteur; on peut donc le classer comme chauffage à eau chaude.

- Le *chauffage par le plafond* dont la chaleur est en grande partie dissipée par rayonnement est assez rare actuellement. Les tubes dans lesquels circule l'eau chaude sont disposés dans le plafond et la plus grande partie de la chaleur produite est dissipée par rayonnement, d'où également le nom de chauffage par rayonnement. Ce rayonnement calorifique émis par le plafond atteint les autres parois qu'il réchauffe et qui, à leur tour, vont émettre de la chaleur partie par rayonnement, partie par convection.

- Le *chauffage par le sol*, solution qui semble retrouver un regain d'intérêt surtout dans le cadre du chauffage basse température. Les serpentins chauffants sont disposés dans le béton, la chape ou les creux du plancher. La température superficielle du sol ne doit pas dépasser une certaine valeur dans les parties où séjournent des personnes sous peine d'occasionner une gêne physique certaine.

- Le chauffage par les parois latérales nécessite que les surfaces de chauffe soient disposées le plus souvent dans les murs donnant sur l'extérieur et plus particulièrement en allège de fenêtre.

2.3.1.4- Chauffage à eau chaude en alvéole technique gaz (A.T.G.)

L'alvéole technique gaz est un local disposé à un niveau d'un immeuble collectif s'ouvrant sur les parties communes et affecté, à l'exclusion de tout autre usage, à l'installation d'appareils individuels de production d'eau chaude sanitaire ou de chauffage des logements ainsi que des conduits d'alimentation en gaz, des conduits d'amenée d'air ou d'évacuation des gaz de combustion correspondant.

Un A.T.G. regroupe donc exclusivement les générateurs de chaleur à simple ou double service assurant le chauffage des locaux et/ou la production d'eau chaude sanitaire, le ou les conduits d'amenée d'air neuf destinés à l'alimentation en air des générateurs et à la ventilation du volume, la ligne électrique et la conduite d'eau nécessaires exclusivement à l'installation, à l'exclusion des compteurs d'eau et sous condition pour les compteurs à gaz et enfin les matériels auxiliaires nécessaires au fonctionnement des appareils précédents.

L'alvéole technique (Fig.2.12) doit être accessible depuis la partie commune à chaque niveau, afin de permettre les opérations normales d'exploitation et de maintenance du matériels qu'il renferme. Il peut être intégré à un local contenant d'autres gaines et destiné à d'autres services généraux.

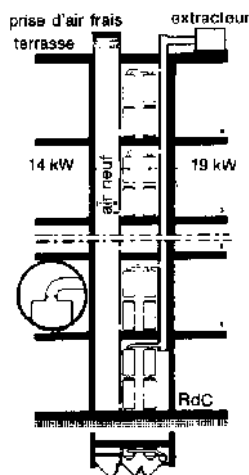


Figure 2.12- Installation de chauffage central dans un immeuble par A.T.G. fonctionnant en tirage mécanique.

2.3.1.5- Chauffage à eau chaude en cellule technique gaz (C.T.G.)

Il s'agit d'une nouvelle conception de la production de la chaleur en habitat neuf. Cette nouvelle conception peut s'envisager dans le cadre d'un immeuble (de type petit collectif) dont l'isolation thermique serait renforcée. En effet, un calcul rapide permet de constater que dans un tel contexte, 4 kW de puissance utile sont suffisants pour chauffer un logement.

Cette technique, dénommée également *chauffage par cage d'escalier*, consiste à créer une cellule de production de chaleur d'une puissance installée inférieure à 70 kW. Cette cellule peut être créée par exemple par l'assemblage de deux chaudières de 35 kW ou trois chaudières de 23 kW à

condensation. Il est donc possible d'alimenter une cage d'escalier comprenant au maximum 17 appartements.

Le principal avantage de ce système réside dans le fait qu'il ne s'agit pas d'une chaufferie au sens réglementaire du terme. Parmi les avantages de cette nouvelle formule, on peut citer la diminution des pertes en ligne, le dimensionnement réduit des pompes et des tuyaux et enfin un taux de chauffage garanti pour chaque logement évitant le vol de chaleur.

On peut réaliser une telle cellule soit en rez-de-chaussée, en étage, en comble ou en terrasse. Elle peut avoir par exemple 3 m de long par 0.6 m de profondeur.

2.3.2- Chauffage à vapeur

Ce mode de chauffage utilise la vapeur comme fluide caloporteur. La vapeur produite dans la chaudière circule par un réseau de tuyauteries jusqu'aux corps de chauffe, se condense, et retourne sous forme de condensats à la chaudière où le cycle recommence.

Le chauffage à vapeur n'est pratiquement plus utilisé de nos jours pour le chauffage des immeubles de bureaux ou d'habitation; mais il convient bien aux locaux à occupation intermittente ou discontinue tels que les halls d'exposition, surtout lorsqu'il y a danger de gel en période d'inoccupation, et pour les cuisines, laveries et usines qui utilisent de la vapeur à d'autres fins.

2.3.2.1- Chauffage à vapeur basse pression ouvert

La vapeur est produite soit dans des chaudières à vapeur basse pression soit dans des chaudières haute pression où elle est détendue à quelques bar avant d'être utilisée pour le chauffage. La *pression effective de service* ne doit dépasser 0.5 bar pour que la chaudière ne soit pas soumise à la réglementation très sévère des chaudières à vapeur. Habituellement, la pression pour des bâtiments dont le développement horizontal atteint 200 m se situe entre 0.05 et 0.1 bar, jusqu'à 300 m environ 0.15 bar et jusqu'à 500 m environ 0.2 bar.

Pour le chauffage des locaux une pression de vapeur de 0.1 bar est presque toujours suffisante et elle atteint 0.5 bar dans le cas d'installations industrielles (laveries, cuisines, etc.).

Les **avantages** de ce système de chauffage par rapport au chauffage à eau chaude sont:

- inertie plus faible et donc mise en température plus rapide d'où un danger de gel moindre;
- coût d'installation plus faible;
- comptage de calories simple par mesure des condensats sur le retour.

Les **inconvénients** sont:

- pas de régulation centrale depuis la chaufferie et comportant des surchauffes fréquentes en période transitoire d'où l'augmentation de la consommation;
- chauffage peu hygiénique du fait des températures superficielles élevées des corps de chauffe;
- pertes calorifiques importantes;
- pas d'accumulation de chaleur dans les corps de chauffe;
- dangers de corrosion élevés (dans les tuyauteries de retour);
- pas de possibilités d'employer des radiateurs en acier;
- hauteur sous plafond de la chaufferie souvent beaucoup plus importante.

Toute installation de chauffage à vapeur nécessite une étude et une mise en œuvre minutieuses sous peine d'être à l'origine de perturbations telles que ruptures de tuyauteries, bruits, émission insuffisante de certains radiateurs, surchauffe pour d'autres, variations du niveau d'eau dans la chaudière, etc.

- **Système à un tuyau:** Dans ce mode de chauffage, la vapeur et l'eau de condensation circulent alors dans la même conduite. La vapeur fournie par la chaudière parcourt d'abord les tuyauteries de distribution en comble. Lorsque les distances sont importantes, la pose se fait en échelon avec purgeurs d'eau au départ des colonnes montantes. Les corps de chauffe ne sont raccordés aux colonnes montantes ou descendantes que par une seule dérivation. La vapeur condensée retourne à la chaudière par des tuyauteries à pente naturelle situées soit au dessus de la ligne d'eau (*retour sec*) soit en dessous (*retour humide*). Dans le cas de conduites sèches, les colonnes montantes et descendantes sont généralement purgées d'eau à partir de *boucles d'eau* qui séparent les tuyauteries véhiculant de la vapeur ou de l'eau de condensation.

Chaque corps de chauffe est équipé d'un *purgeur d'air* automatique qui ne laisse passer que l'air et pas la vapeur. De même, on installe des purgeurs d'air aux points les plus bas des tuyauteries de vapeur. Les robinets placés sur les radiateurs, du moins lorsqu'on en installe, ne

doivent avoir que deux positions "ouvert" ou "fermé", les positions intermédiaires n'étant pas possibles, sinon on empêche l'écoulement des condensats.

Les combustibles les plus appropriés pour une chaudière à vapeur sont le gaz ou le fuel, la régulation étant plus difficile avec des combustibles solides. La régulation est de type tout ou rien. Le système à un tuyau n'est pratiquement plus utilisé car on ne peut maintenir une température constante lorsque celle de l'extérieure est assez élevée.

- **Système à deux tuyaux:** Dans ce cas, la vapeur et les condensats circulent dans des tuyauteries séparées. Les tuyauteries de distribution principales filent soit au plafond du sous-sol dans le cas d'une distribution inférieure (Fig.2.13) soit en comble dans le cas d'une distribution supérieure (Fig.2.14). On prévoit toujours une *pente descendante vers les tuyauteries verticales*, quel que soit le type de distribution. Lorsque les réseaux sont très étendus, on les dispose en échelons en prévoyant un système de purge d'eau au pied des colonnes montantes. Les corps de chauffe sont raccordés aux colonnes verticales à savoir d'un côté les tuyauteries de vapeur, de l'autre celles de condensats. L'entrée de la vapeur se fait en partie supérieure des corps de chauffe, la sortie des condensats en partie inférieure. Pour éviter que la vapeur ne perturbe le circuit retour des condensats, on prévoit un éliminateur de vapeur à la sortie de chaque corps de chauffe.

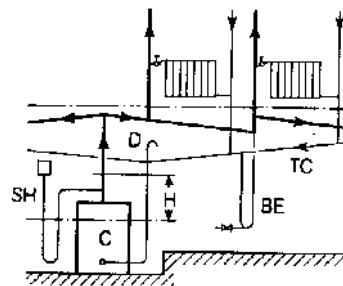


Figure 2.13- Chauffage à vapeur BP à deux tuyaux avec distribution inférieure et retour sec des condensats.

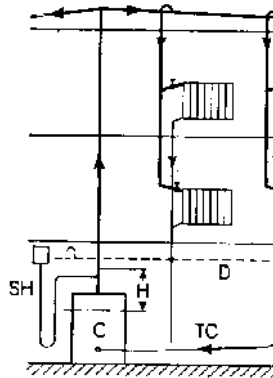


Figure 2.14- Chauffage à vapeur BP à deux tuyaux avec distribution supérieure et retour humide.

Les condensats en provenance des corps de chauffe retournent à la chaudière par pente naturelle. La tuyauterie de condensats peut être soit du *type sec* et dans ce cas le retour se situe au plafond du sous-sol au dessus du plan d'eau (zone de pression) soit du *type humide* et le retour se situe alors en dessous de ce plan d'eau. L'évacuation de l'eau qui pourrait se trouver dans les tuyauteries de vapeur dans le cas d'un retour haut s'effectue par des boucles d'eau, tandis que dans le cas d'un retour en position basse, il n'est pas nécessaire de prévoir de boucles.

Au moment de la mise en vapeur de l'installation, l'air est chassé par la vapeur plus légère dans les tuyauteries de retour en passant par les corps de chauffe. Lorsque les tuyauteries sont en position haute l'évacuation de l'air se fait à l'air libre au point le plus bas. Lorsque les tuyauteries sont en positions basse, il faut purger les colonnes verticales par une *conduite d'air* spéciale.

2.3.2.2- Chauffage à vapeur basse pression fermé

Ce système, peu connu en France, se différencie du chauffage à vapeur basse pression ouvert du fait qu'il n'est pas en *communication directe* avec l'atmosphère. La vapeur se répand de la chaudière aux corps de chauffe où elle se condense. On prévoit ensuite des *séparateurs de vapeur* qui ne laissent passer que les condensats et l'air. La vapeur condensée retourne à la chaudière tandis que l'air est évacué à l'extérieur par l'intermédiaire de purgeurs sous vide (colonnes barométriques ou pompes à flotteur) montés à l'endroit où la tuyauterie retour rejoint la

chaudière. La soupape de dégazage est construite de telle façon qu'à la mise en chauffe de la chaudière, elle laisse s'échapper l'air des tuyauteries et empêche toute reintroduction.

Ce type de chauffage, utilisé autrefois aux USA, est bon marché et ses possibilités de régulation sont meilleurs que le chauffage à vapeur basse pression ouvert, mais il demande plus de surveillance.

2.3.2.3- Chauffage à vapeur haute pression

Ce système de chauffage fonctionne à une pression de vapeur dépassant 0.5 bar. On le trouve surtout dans les usines où l'on utilise de la vapeur haute pression dans les processus de fabrication ou pour faire fonctionner certaines machines. La vapeur est soit directement issue de la chaudière (vapeur vive) soit utilisée après avoir servi dans différentes machines (vapeur de récupération). Le choix de la pression de vapeur est fonction du système de couplage chaleur-force, de l'extension du réseau et de bien d'autres paramètres; elle est comprise le plus souvent entre 1 et 3 bar. La vapeur haute pression est produite dans les chaudières les plus diverses. Pour le chauffage des locaux, la vapeur haute pression n'est plus que très rarement utilisée, tout au plus pour des locaux annexes, entrepôts, etc. Du fait qu'elle est physiologiquement peu recommandée par suite des températures superficielles élevées des corps de chauffe.

Par ailleurs, il n'est pas possible de régler localement l'émission, si bien que les locaux sont souvent surchauffés. Par contre, la vapeur haute pression est encore utilisée dans les usines pour les aérothermes. La régulation se fait alors par marche en tout ou rien des ventilateurs.

- Avantages:

- coût d'installation faible du fait que les canalisations et les corps de chauffe sont de faible dimensions;
- dangers dus au gel minimes;
- possibilités de transformer facilement l'installation.

Inconvénients:

- température des corps de chauffe physiologiquement trop élevée;
- difficultés dans la régulation de la puissance;

- retour des condensats délicat;
- dispositions réglementaires sévères;
- pertes calorifiques importantes.

Il existe différents montages de fonctionnement de ce type de chauffage en fonction des débits de vapeur nécessaires aux processus industriels et au chauffage.

- Fonctionnement à vapeur vive: La vapeur provenant de la chaudière (Fig.2.15) est envoyée directement ou par l'intermédiaire d'un poste de détente dans le réseau du chauffage. Du point de vue thermodynamique c'est une méthode peu économique.

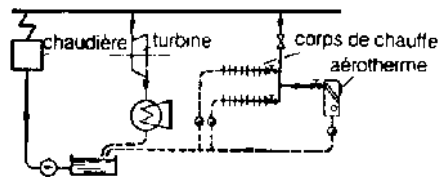


Figure 2.15- Chauffage à vapeur HP à vapeur vive.

- Fonctionnement à contre-pression: La vapeur produite dans la chaudière fournit d'abord du travail dans une machine motrice à vapeur (turbine à vapeur ou machine à vapeur à piston); c'est la vapeur perdue qui est utilisée pour le chauffage (Fig.2.16). Les besoins en vapeur étant variables, il faut prévoir une soupape à décharge de vapeur vive lorsque le débit de vapeur perdue est insuffisant et un système d'échappement ou de condensation lorsqu'il y a excédent.

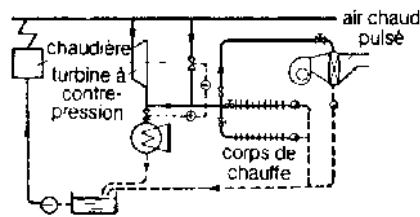


Figure 2.16- Chauffage à vapeur HP avec vapeur à contre-pression.

- Fonctionnement à partir d'un poste d'échange: La vapeur nécessaire au chauffage est soutirée entre les réseaux haute pression et basse pression d'une machine motrice à vapeur (Fig.2.17).

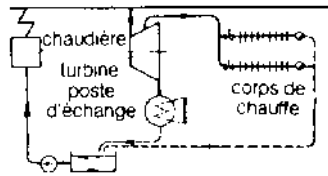


Figure 2.17- Chauffage à vapeur HP avec poste d'échange.

- **Tuyauterie de condensats:** Après chaque corps de chauffe ou groupe de corps de chauffe, il est indispensable de prévoir un *séparateur de vapeur*. Son dimensionnement se fait pour la puissance nominal en fonction du débit de condensats et de la pression différentielle. Le débit le plus important a lieu à la mise en température. Pour ce cas extrême, prévoir des tubulures spéciales ou un système de retour aux séparateurs de vapeurs. Ces derniers seront en nombre aussi réduit que possible car ils demandent beaucoup d'entretien. Les condensats sont récupérés dans des tuyauteries collectrices en pente et de là renvoyés à la bache d'alimentation de la chaudière en chaufferie. Le relevage des condensats en chaufferie s'effectue soit au moyen de pompes à condensats soit au moyen de dispositifs de relevage particuliers. Pour qu'une installation de chauffage à vapeur haute pression fonctionne économiquement, il est indispensable d'entretenir soigneusement tant les tuyauteries de condensats que les pots de condensats.

Dans les installations fonctionnant à différentes pressions, on ne doit collecter après les séparateurs que des tuyauteries à la même pression, sinon il y a risque de perturbations. On prévoit alors plusieurs tuyauteries de condensats pour éviter les coups de Bélier. La vitesse de la vapeur lors de sa détente est normalement de 15 à 20 m/s pour atteindre 25 m/s dans les installations à haute pression. Il est intéressant d'utiliser des *pots de détente* (Fig.2.18) afin de permettre le recyclage de la vapeur détendue de l'étage basse pression (économie d'énergie).

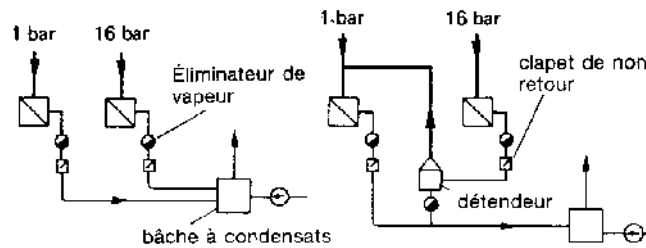


Figure 2.18- Retour des condensats pour différentes pressions.

2.3.2.4- Chauffage à vapeur sous vide

Le chauffage à vapeur sous vide (ou à dépression) est caractérisé par le fait qu'on maintient dans les tuyauteries de condensats une pression inférieure à la pression atmosphérique et obtenue par une pompe à vide (ou plus exactement par une pompe à air). La pression absolue de vapeur varie suivant la température extérieure de 0.2 à 1.1 bar. La pression atmosphérique n'est atteinte ou dépassée que lors des plus grands froids.

Avantages par rapport au chauffage basse pression:

- température des corps de chauffe plus faible;
- possibilité de régulation centrale plus facile;
- retour plus rapide des condensats à la chaudière.

Inconvénients:

- frais d'investissement et d'exploitation plus élevés;
- nécessité d'un montage très soigné (étanchéité des tuyauteries et des vannes).

Malgré ces avantages évidents, le chauffage à vapeur sous vide est peu utilisé en France sauf parfois dans certaines centrales chaleur-force où le réseau de chauffage est piqué entre installation motrice et condenseur ou en parallèle avec ce dernier. Par contre aux USA, ce système de chauffage est souvent utilisé même dans les grandes installations. En particulier dans les bâtiments de grande importance et dans les installations de chauffage urbain, le chauffage à

vapeur sous vide est considéré, contrairement à ce qui se passe en Europe, comme un type de chauffage tout à fait moderne.

Les différents types d'installation qui existent peuvent être classées en deux grandes catégories:

- **Chauffage à vapeur sous vide élémentaire:** On utilise dans ce cas une pompe à vide placée sur le retour des condensats et qui assure un certain vide, par exemple 20 à 30 % en aspirant en permanence l'air et la vapeur, ce qui accélère le cycle de l'eau tandis que dans la tuyauterie aller de vapeur et en fonction de la charge il règne une plus ou moins grande surpression ou encore dépression (Fig.2.19). La pompe à vide sépare l'eau de l'air, renvoie l'eau à la chaudière ou au réservoir collecteur de condensats et rejette l'air à l'extérieur. En général, tous les corps de chauffe sont équipés d'un robinet de réglage sans presse-étoupe et d'un éliminateur de vapeur. La puissance calorifique est réglée en fonction des besoins par variation de la pression de vapeur et du niveau du vide.

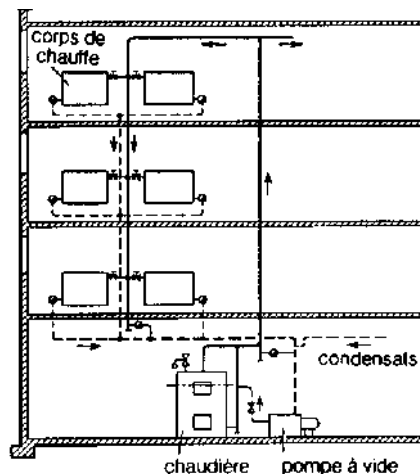


Figure 2.19- Chauffage à vapeur sous vide élémentaire.

- **Chauffage à vapeur sous vide différentiel:** Il se différencie du chauffage élémentaire par le fait qu'on maintient automatiquement une *pression différentielle constante* d'environ 0.1 bar entre la phase vapeur et la phase condensats tandis que la pression absolue de vapeur varie en fonction de la température extérieure. Lorsque celle-ci est très basse, la pression de vapeur dans les corps de chauffe est à peu près égale ou un peu supérieure à la pression atmosphérique tandis que pour des températures extérieures plus élevées cette pression de vapeur est réduite jusqu'à la valeur

minimale d'environ 0.2 bar. La température de vapeur varie alors de 100 °C à environ 60 °C. Lorsque la puissance calorifique demandée est encore plus faible que ce qui correspond à ces températures, on réduit le débit de vapeur, les corps de chauffe n'étant alors remplis de vapeur qu'en partie, ou l'on ne chauffe que par trains de vapeur.

Le schéma de principe d'un chauffage à vapeur sous vide différentiel raccordé à un réseau de chauffage urbain est donné sur la figure (Fig.2.20).

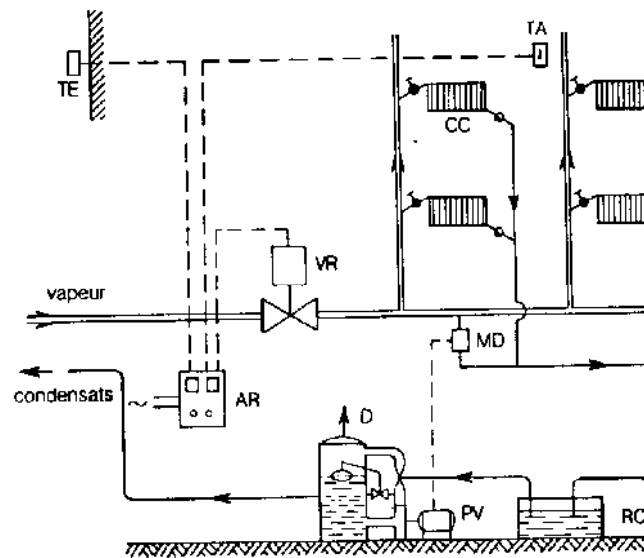


Figure 2.20- Schéma de principe d'un chauffage à vapeur sous vide avec régulation différentielle de pression et raccordement à un réseau de chauffage urbain.

Du point de vue physiologique et technique, ce type de chauffage apporte de nombreux avantages dus à la possibilité de faire varier la température de la vapeur; c'est pour cela qu'il doit encore pouvoir trouver aujourd'hui de nombreuses applications dont un exemple est donné à la figure (Fig.2.21). Des installations de ce type sont très répandues aux Etats-Unis.

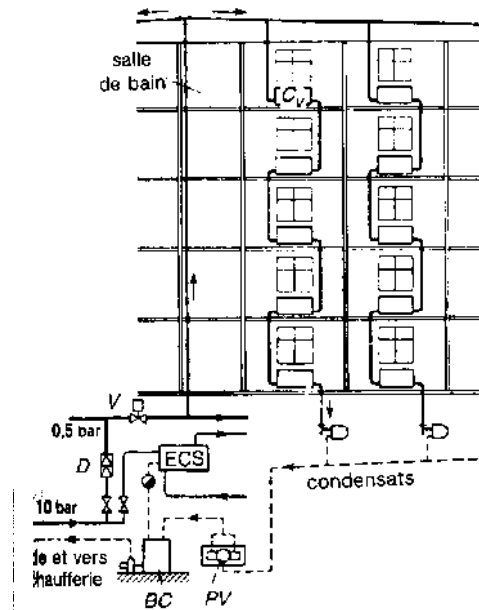


Figure 2.21- Immeuble d'habitation desservi par une installation de chauffage à vapeur sous vide de type différentielle.

Une chaufferie centrale produit de la vapeur à 10 bar destinée à plusieurs immeubles. Dans chaque immeuble, il y a détente jusqu'au vide choisi puis distribution supérieure de la vapeur sous vide. Les colonnes descendantes sont disposées en zigzag de l'étage le plus élevé à l'étage inférieur. On ne prévoit pas de robinets d'arrêt ou de réglage ce qui rend impossible toute régulation locale.

2.3.3- Chauffage aéraulique

Dans ce type de chauffage, c'est l'air qu'on utilise comme fluide caloporteur. Une fois réchauffé dans un générateur approprié, l'air est envoyé dans les locaux à chauffer par l'intermédiaire de conduits, s'y refroidit puis retourne au générateur ou le cycle recommence. On distingue plusieurs type de chauffage aéraulique suivant la force faisant circuler l'air, suivant la quantité d'air neuf admise ou suivant le combustible utilisé.

2.3.3.1- Chauffage à air chaud à circulation naturelle

Ce mode de chauffage était autrefois fréquemment utilisé pour les pavillons, parfois même pour des salles de classe, des églises, des locaux divers. Le générateur d'air chaud se trouve alors sous la pièce à chauffer, généralement au sous-sol, et si possible au milieu de cette pièce. Il

fonctionne au charbon, au fuel ou au gaz. L'air provenant des locaux arrive en partie basse du générateur, se réchauffe sur les parois brûlantes et sort en partie supérieure à la température de 50 à 80 °C pour se répartir dans un réseau de conduits vers les locaux à chauffer. Le mouvement de l'air ne résulte que de la différence de poids volumique entre air chaud et air refroidi.

Chaque pièce est desservie par un conduit d'air chaud pour l'aller et un autre conduit, d'air repris, pour le retour jusqu'au générateur. Dans les pavillons, il n'y a généralement qu'un conduit de reprise placé près de la cage d'escalier ou dans un couloir. Ce type de chauffage est de moins en moins réalisé, car il est remplacé par le chauffage à air pulsé. Le chauffage à air chaud à partir d'un poêle en faïence fait partie de cette catégorie.

2.3.3.2- Chauffage à air chaud pulsé

Ce type de chauffage se distingue du chauffage à air chaud à circulation naturelle par le fait que cette circulation est assurée par un ventilateur électrique. Son schéma de principe est représenté à la figure (Fig.2.22).

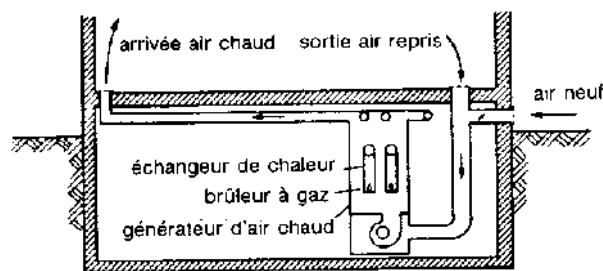


Figure 2.22- Schéma de principe d'une installation de chauffage à air pulsé.

Avantages :

- à puissance calorifique égale, les dimensions des conduits sont plus faibles;
- plus grande latitude pour le tracé des conduits ;
- possibilité de chauffer des locaux plus grands;
- mise en régime plus rapide ;
- régulation plus facile ;
- possibilité d'utiliser un appareillage complémentaire tels que filtres à poussière, batteries froides, humidificateurs, récupérateurs de chaleur, etc.

Inconvénients :

- frais d'investissement plus élevés et consommation de courant permanente ;
- entretien plus fréquent.

A l'étranger surtout aux USA, le chauffage à air pulsé a pris une grande extension dans le, chauffage des pavillons, les générateurs fonctionnant au fuel ou au gaz. Ce n'est que lorsqu'on a remplacé le charbon par ces combustibles qu'on a pu utiliser des systèmes de régulation efficaces. On peut scinder le chauffage à air chaud pulsé en deux catégories suivant qu'il s'agit du chauffage d'un seul grand local ou du chauffage simultané de plusieurs locaux (Fig.2.23)

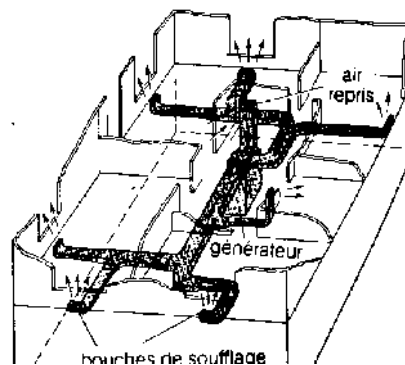


Figure 2.23- Chauffage à air pulsé d'un pavillon avec générateur en sous-sol.

Les différentes possibilités de disposer les conduits d'air en tôle au plafond du sous-sol sont :

- conduits d'air unitaires semblables ;
- conduits d'air principal et piquages ;
- conduits d'air à section décroissante.

2.3.3.3- Chauffage par rayonnement à air surchauffée

Dans ce type de chauffage, le fluide caloporteur est de l'air surchauffé à des températures de 150...300 °C, en circulation dans un réseau fermé de conduits de faible diamètre. L'air est réchauffé dans un aérotherme spécial à fuel ou au gaz, pulsé dans le réseau par un ventilateur puis retourne à l'aérotherme (Fig.2.24).

Le réseau de conduits, positionné autant que possible assez haut, se compose de tubes spiralés en tôle d'acier, groupés en deux, trois ou quatre unités. Les conduits circulaires sont coffrés

latéralement et isolés thermiquement en partie supérieure. C'est environ 70% de la chaleur qui est cédée par rayonnement vers le bas, ce qui permet de réchauffer le sol; il en résulte un profil de températures tout à fait favorable. La mise en température est rapide d'où des économies d'énergie.

Ce système est surtout utilisé dans les constructions industrielles, entrepôts, gymnases, hangars d'aviation, etc.

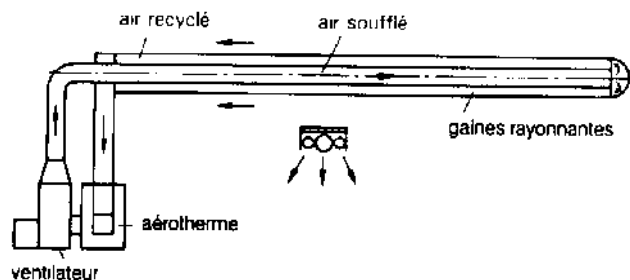


Figure 2.24- Principe d'un chauffage par rayonnement à air surchauffée.

2.3.3.4- Chauffage à air chaud à gaz de type direct

Dans certains secteurs industriels particulier, il peut être intéressant d'utiliser des générateurs d'air chaud à gaz de type direct, auquel cas gaz brûlés et air chaud sont envoyés conjointement dans le local. Mais il faut alors prévoir des brûleurs spéciaux à plaques dites de mélange. Le rendement thermique est alors de 100 % et il n'est donc pas nécessaire de prévoir de conduit d'évacuation des gaz brûlés. La formation de gaz carbonique nécessite cependant une ventilation très active des locaux avec apport d'air neuf.

Ce type d'installation est surtout utilisé dans les locaux où il y a dégagement de poussière, gaz, vapeurs et autres et qui de toutes façon doivent être efficacement ventilés.

2.4.- Chauffage urbain

Un chauffage dit urbain (dénommé aussi parfois chauffage d'îlots ou chauffage à distance) est caractérisé par le fait que c'est à partir d'une seule chaufferie ou d'une seule centrale chaleur-force qu'on assure l'alimentation en fluide caloporteur de tout un complexe tels que hôpital, caserne, usine, etc., d'un groupe de constructions ou même de tout un quartier. La chaleur

produite dans la chaufferie centrale est alors distribuée au moyen d'un réseau de tuyauteries, la tarification s'effectuant sur la base de contrats spéciaux.

Toute installation de chauffage urbain comporte les principaux éléments suivants :

- *la chaufferie* qui se compose des chaudières, cheminée, soutes à combustible ou citernes à fuel, armoires de régulation, appareillage de mesure et de contrôle, etc.; il est en outre de plus en plus fréquemment prévu des installations complémentaires permettant de valoriser la chaleur récupérable provenant de la combustion des déchets ménagers ou de différents processus industriels ;
- *le réseau de distribution urbain* composé de canalisations dans lesquelles la chaleur est transportée sous forme de vapeur, d'eau chaude ou d'eau surchauffée de la chaufferie centrale aux sous-stations ;
- *les sous-stations* dans lesquelles s'effectue le transfert de chaleur entre le réseau urbain et le réseau privé ;
- *le réseau de distribution privé* qui permet l'alimentation des corps de chauffe ou autres points de fourniture de chaleur de l'abonné.

Le principal critère à prendre en compte dans la conception d'une installation de chauffage urbain est la *rentabilité* qu'il faut donc toujours déterminer.

Les avantages du chauffage urbain sont les suivants :

- absence de transport de combustible et de cendres vers/et de chaque bâtiment (circulation plus fluide) ;
- possibilité d'utiliser des combustibles meilleur marché (par exemple ordures ménagères) ;
- très bonne rentabilité d'utilisation du combustible ;
- très grande sécurité de fonctionnement par utilisation des chaudières à tour de rôle ;
- gain de place ; pas de locaux techniques, soutes à combustible, cheminées à chaque point d'utilisation ;
- presque pas d'opérations de conduite, protection contre l'incendie accrue ;
- réduction des nuisances dues aux fumées et des rejets de SO₂ ;
- dans le cas de centrales chaleur-force, on peut réaliser une production combinée de courant électrique et de chaleur tout à fait intéressante tout en améliorant le rendement du cycle thermodynamique et en récupérant la chaleur perdue.

Les installations de chauffage urbain peuvent être classés d'après le fluide caloporteur, suivant le type de raccordement, suivant la puissance, suivant le nombre de logements chauffés ou suivant la destination des bâtiments chauffés. On distingue pour ce dernier :

- *chauffage urbain* proprement dit qui assure le chauffage d'immeubles d'habitation et de bâtiments divers tels que écoles, casernes, hôpitaux, etc. à partir d'une chaufferie propre dont le fonctionnement est assuré par une compagnie d'exploitation (Fig.2.25 et 2.26). Autrefois, les installations étaient le plus souvent de type ouvert avec vase d'expansion dans le bâtiment le plus élevé; à présent la plupart des installations sont de type fermé. La puissance est entre 3 et 8 MW, la température maximale du fluide chauffant est de 120 °C ;
- *chauffage d'usines* et d'établissements industriels, l'énergie fournie servant au chauffage des locaux et étant également utilisée dans des processus divers ;
- *chauffage à distance* qui dessert aussi bien des bâtiments d'habitation que des usines. La puissance est de 20 à 2 000 MW, la température aller de 110 à 180 °C. La facturation de l'énergie livrée s'effectue sur la base d'une redevance mensuelle ou annuelle fonction de la puissance souscrite et de la quantité d'énergie thermique consommée.

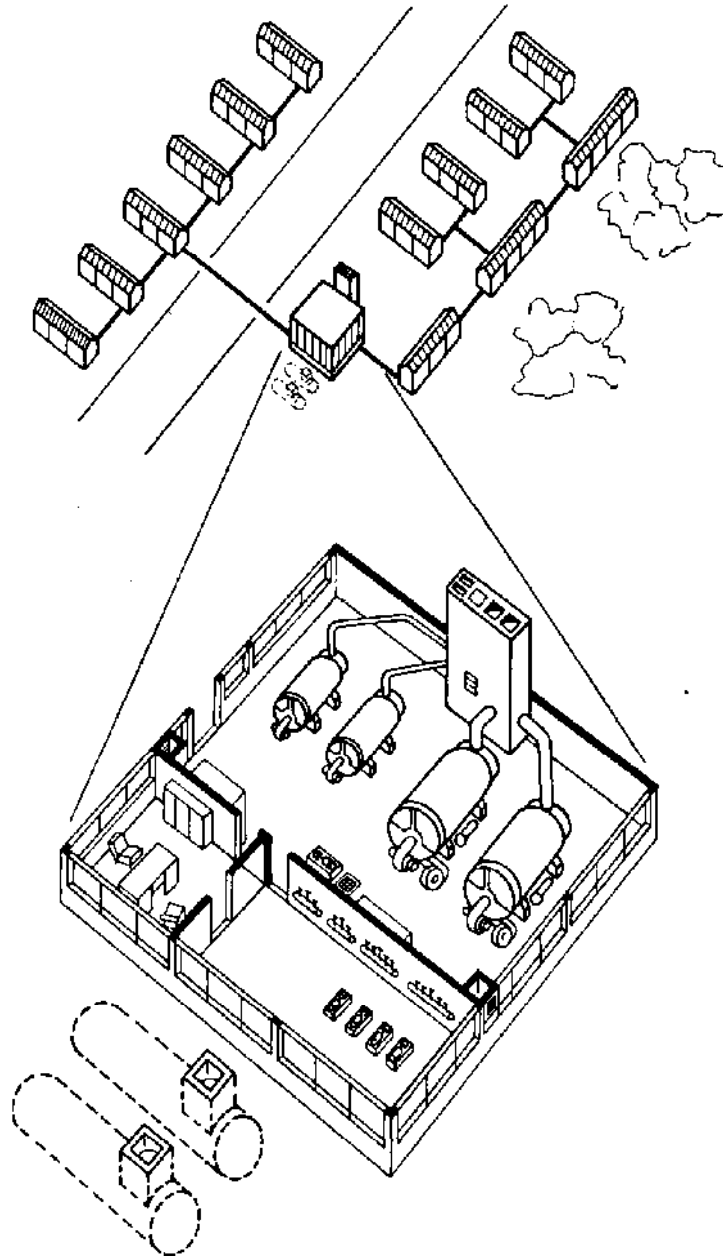


Figure 2.25- Immeubles d'habitation desservis en fluide caloporteur à partir d'une chaufferie centrale pour chauffage de type urbain.

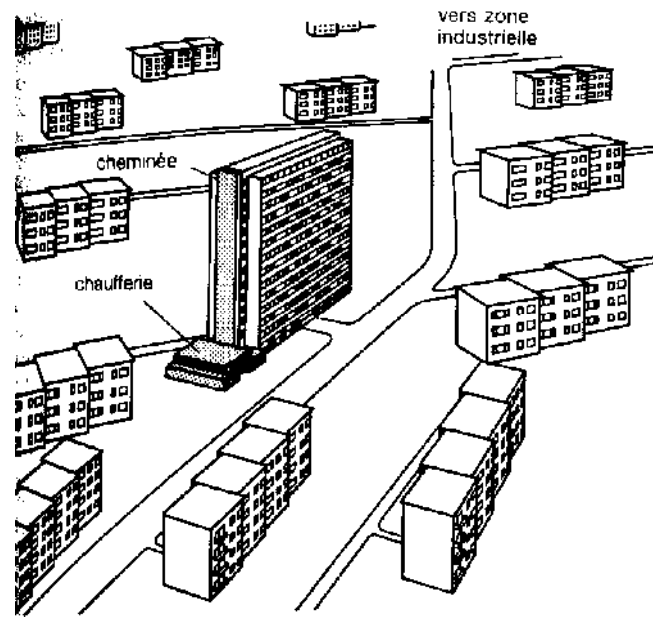


Figure 2.26- Quartier résidentiel desservi en fluide chauffant à partir d'une chaufferie centrale pour chauffage de type à distance, desservant également une zone industrielle proche.

2.4.1- Chauffage urbain à eau chaude (Température max. 120 °C)

Ce type de chauffage correspond dans son ensemble à une importante installation de chauffage à eau chaude accélérée (Fig.2.26). Elle peut être du type ouvert ou fermé. Le transport de la chaleur se fait avec de l'eau dont la température est la même que dans un chauffage central, soit au maximum 120 °C. La température aller est :

- ou bien régulée centralement en fonction de la température extérieure (température proportionnelle) ;
- ou bien en partie proportionnelle par exemple jusqu'à 70 °C.

Avantages :

- grande sécurité de fonctionnement ;
- possibilité d'une régulation centrale ;
- pas de sujétions supplémentaires nécessitées par le retour des condensats ;

- pertes calorifiques faibles ;
- facilité de stockage de la chaleur.

Ce type de chauffage est généralement prévu pour les groupes d'immeubles d'habitation ou de bureaux, cités-dortoirs, hôpitaux et établissements industriels qui ne consomment que peu ou pas de vapeur.

2.4.1.1- Production de chaleur

Toute chaufferie urbaine, dont l'emplacement est à déterminer avec soins, se compose généralement de locaux suivant (Fig.2.25) :

- chaufferie proprement dite avec deux ou plusieurs chaudières ;
- local des pompes avec préparation d'eau chaude et distribution principale ;
- poste de commande avec appareillage de mesure et de régulation atelier ;
- locaux annexes (ateliers, personnel, soute à combustible, citernes à fuel).

Dans les petites installations jusqu'à 3 à 5 MW, la chaufferie est située en sous-sol du bâtiment le plus haut pour pouvoir placer le vase d'expansion en combles. Mais le plus souvent l'installation est de type fermé avec vase d'expansion en partie basse.

Les grandes chaufferies urbaines sont généralement situées dans des constructions séparées.

Dans les installations modestes, l'eau chaude est fournie par des chaudières à chauffage direct, le vase d'expansion pouvant être ouvert ou fermé. *L'eau chaude* est fournie directement aux utilisateurs sans l'intermédiaire d'un échangeur de chaleur. *L'eau chaude sanitaire* pour cuisines, salles de bain, etc. est fournie en production centralisée dans la chaufferie ou décentralisée à partir d'échangeurs de chaleur avec réservoirs de stockage dans les bâtiments. *La vapeur* destinée aux usages les plus divers est produite soit séparément dans des chaudières à vapeur ou bien lorsque les besoins en vapeur sont prépondérants on utilise seulement des chaudières à vapeur, l'eau chaude étant fournie par l'intermédiaire d'échangeurs de chaleur (Fig.2.27).

Dans les grandes installations, on utilise des chaudières en acier dont il existe de nombreux modèles. Les plus utilisées étant les chaudières à tubes de fumée à trois passes (10 ou 20 MW). La puissance totale est répartie entre 2 ou 3 unités à raison de 40, 40 et 20%. S'il est nécessaire de fournir d'importants débits de vapeur à des fins industrielles, on prévoira des *chaudières à vapeur*

haute pression dont la vapeur alimente d'abord une turbine avant de réchauffer l'eau chaude dans un condenseur (appareil à contre-courant).

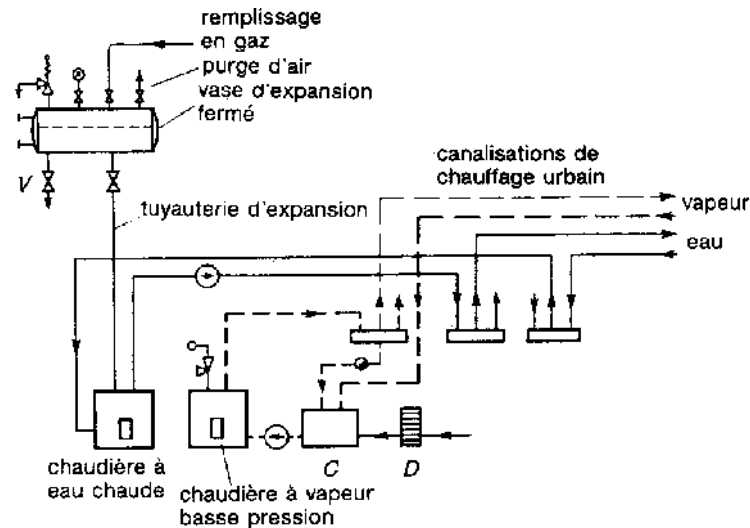


Figure 2.27- Schéma de principe d'une installation de chauffage urbain de type fermé avec chaudière à eau chaude et chaudière à vapeur basse pression.

2.4.1.2- Distribution

Dans le système à une seule canalisation, et comme pour une installation de chauffage central monotube, on prévoit une ou plusieurs boucles suivant la disposition des bâtiments (Fig.2.28). la température aller est maintenue constante à 120 °C au moins. A chaque raccordement d'immeuble, on prévoit une vanne trois voies permettant de mélanger l'eau de l'aller du chauffage urbain à l'eau de retour du chauffage de l'immeuble.

La température de l'eau du réseau urbain diminue par mélange de l'eau du retour. Le calcul doit se faire de telle façon que le dernier immeuble de la boucle puisse recevoir une quantité de chaleur suffisante.

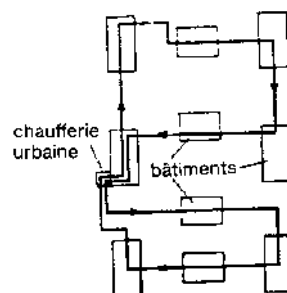


Figure 2.28- Chauffage urbain de type mono-canalisation desservant deux boucles.

Dans un système à deux canalisations (Fig.2.27 et 2.29), on prévoit une canalisation aller et une autre retour entre la chaufferie et les abonnés. Ce système est surtout utilisé en chauffage pur, c'est-à-dire sans préparation d'eau chaude sanitaire. Le température aller est alors régulée centralement en fonction de la température extérieure. On peut prévoir comme températures aller/retour 90/70 °C, 110/70 °C, 110/60°C, etc. C'est le système le plus courant, lorsque l'on prévoit le raccordement de l'aller à des préparateurs d'eau chaude sanitaire, sa température ne sera pas inférieure à 70 °C (Fig.2.30).

Au niveau des différents points d'utilisation, la régulation de la température se fera par vanne mélangeuse, éjecteur hydraulique (pompe à jet), vanne d'étranglement ou encore échangeur de chaleur. Mais dans ce dernier cas, la chute d'enthalpie provoque des pertes.

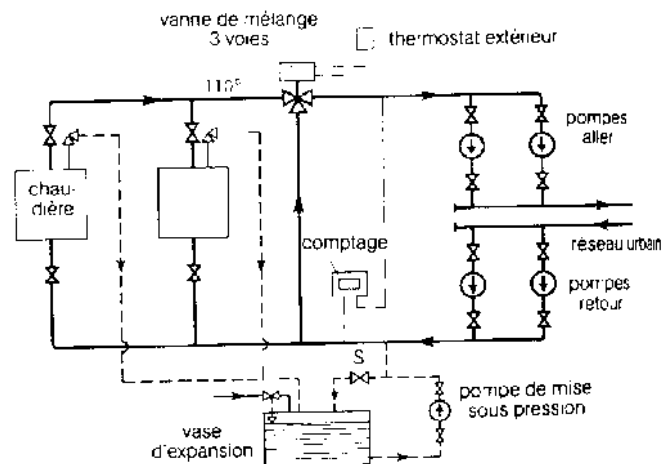


Figure 2.29- Réseau de distribution d'un chauffage urbain à eau chaude fermé à deux conduites avec régulation centrale de température et pompe de mise en pression.

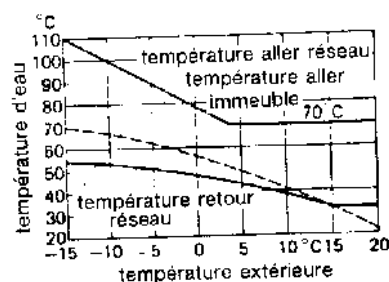


Figure 2.30- Températures d'eau chaude dans un chauffage urbain à deux canalisations avec préparation d'eau chaude sanitaire et fonctionnant 24 h par jour.

2.4.1.3- Températures aller et retour

La température aller peut atteindre 95 °C dans un chauffage de type ouvert et 120 °C dans un chauffage de type fermé; sa régulation est de type progressif en fonction de la température extérieure. Lorsqu'il y a simultanément préparation d'eau chaude sanitaire, la température aller ne doit pas descendre en dessous de 70 °C et donc rester alors constante (Fig.2.30); la courbe représentative de cette variation de température présente donc un point d'inflexion.

Plus la différence de température entre aller et retour dans les canalisations principales est élevée, plus, à puissance égale, le débit d'eau en circulation est faible et meilleur marché sera le réseau. C'est pourquoi il est conseillé pour des raisons économiques de prévoir des écarts de températures aller-retour aussi élevés que possible.

Du fait du brassage avec le retour par l'intermédiaire de la vanne mélangeuse, les corps de chauffe ne sont généralement pas alimentés à des températures aller supérieures à 70 °C.

Pour augmenter la puissance du réseau, on choisit parfois d'augmenter l'écart de température qui peut même atteindre 65 °C, par exemple 110/45 °C, la température retour étant maintenue basse au moyen de robinets de précision ou de robinets thermostatiques montés sur les corps de chauffe. Dans le cas de centrales chaleur-force, une faible température de retour permet un chauffage économique. Le plus faible diamètre des tuyauteries diminue le coût du réseau, les pompes de circulation des canalisations principales ont une moindre puissance mais par contre le coût d'investissement des corps de chauffe est plus élevé en comparaison d'un chauffage à 90/70 °C.

Les corps de chauffe seront équipés de *robinets de précision* à forte perte de charge. Mais dans le cas d'écarts de température importants, le réglage de l'installation est plus difficile, les robinets sont à l'origine de bruits et les petits dérangements provoqués par la force ascensionnelle supplémentaire ou l'encrassement des robinets sont plus fréquents.

Il existe une autre possibilité d'augmenter l'écart de température en réalisant le montage en série de différents groupes de chauffage dont les périodes de fonctionnement sont les mêmes et en échelonnant les puissances partielles en fonction du débit d'eau chaude, par exemple chauffage des locaux et ventilation. On décharge ainsi considérablement le réseau (Fig.2.31). Les installations de chauffage par le sol conviennent particulièrement bien pour obtenir de faibles températures de retour.

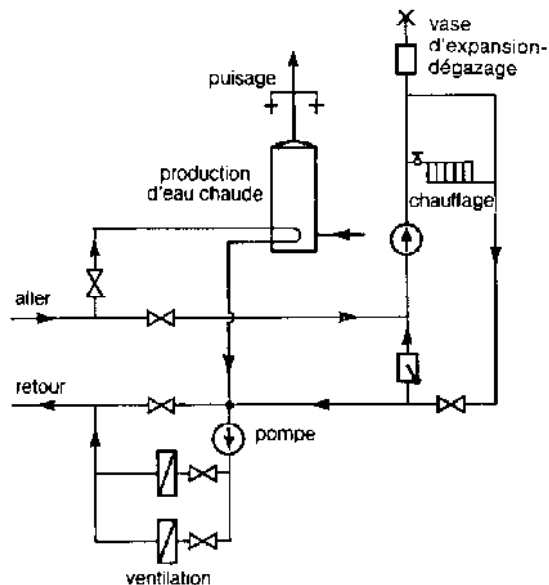


Figure 2.31- Montage permettant d'augmenter l'écart de température avec chauffage et eau chaude sanitaire montés en parallèle et ventilation montée en série.

2.4.1.4- Pompes de circulation

La circulation de l'eau chaude est assurée par des pompes placées sur l'aller, le retour ou les deux à la fois. Leur entraînement s'effectue par moteur électrique, plus rarement par turbine à vapeur. L'emploi de pompes très fiables à variation de la vitesse de rotation évite l'utilisation de deux jeux de pompes, l'une pour la pleine charge, l'autre pour la demi-charge. Le choix de la hauteur manométrique de la pompe se fait en fonction de critère de rentabilité. A pression élevée correspond une puissance importante mais de petits diamètres et inversement. D'où l'utilité de déterminer par le calcul la pression la plus économique. Les hauteurs manométriques les plus usuelles se situent entre 4 et 6 bar.

Les grosses pompes de circulation doivent être équipées d'un système électronique de variation de la vitesse de rotation, par exemple au moyen de thyristors.

La pompe doit pouvoir fournir une pression d'environ 5 à 10 mbar/m de canalisation. Sa consommation de courant se situe alors entre 16 et 20 kWh/MWh ($\approx 2\%$).

2.4.1.5- Réserve de chaleur

Les réserves de chaleur par accumulation permettent de couvrir des surcharges de pointe momentanées, bien que le réseau dans toute son étendue possède déjà une possibilité d'accumulation considérable. Le dispositif le plus simple est l'*accumulateur type Beaurienne*, à séparation par différence de densité. On peut le monter sur le réseau en série ou en dérivation (Fig.2.32).

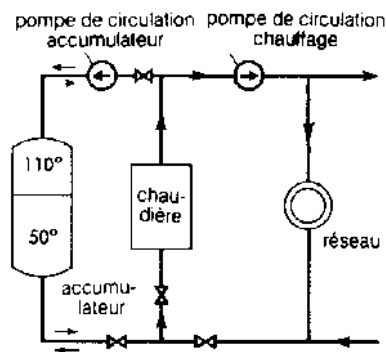


Figure 2.32- Accumulateur type Beaurienne pour chauffage urbain à eau chaude.

La capacité d'accumulation est d'autant plus importante que la différence de température est élevée. Pour de l'eau à 110/50 °C, chaque m³ d'eau peut accumuler 250 MJ (≈ 70 kWh). Un accumulateur de 1000 m³ de volume peut donc fournir en peu de temps 70 MWh à condition de maintenir la stratification de l'eau dans l'accumulateur pendant son fonctionnement, ce qui nécessite de bien veiller à l'écoulement de l'eau. Ce dispositif est surtout utilisé lorsqu'on peut mettre l'accumulateur en charge par chauffage électrique en heures creuses.

2.4.1.6- Répartition de pression dans le réseau

Au stade de l'avant-projet, il est nécessaire d'évaluer les différentes pressions qui régneront tout au long du réseau car pendant le fonctionnement des pompes, la répartition des pressions change considérablement. La *pression totale* (pression de fonctionnement) en un point quelconque est égale à la somme de la pression statique et de la pression de la pompe, cette dernière pouvant être aussi bien positive que négative. Dans les corps de chauffe classiques en fonte, la pression totale ne doit pas dépasser 4 bar, dans les corps de chauffe pour immeubles de grande hauteur 6 bar.

Quand la pompe est placée sur l'aller (Fig.2.33a), la pression de la pompe et la pression statique s'additionnent.

Si la pompe est placée sur le retour (Fig.2.33b), la pression de fonctionnement dans l'ensemble du réseau est plus faible que la pression statique. Si la pression n'était pas suffisante, il en résulterait des perturbations dans la circulation des étages supérieurs.

Lorsqu'il y a deux pompes l'une sur l'aller, l'autre sur le retour, la pression totale dans le réseau est en partie supérieure, en partie inférieure à la pression statique (Fig.2.33c).

La pression de la pompe sert à vaincre les frottements et autres résistances dans le réseau ; elle est consommée jusqu'au corps de chauffe le plus défavorisé. La pression différentielle entre l'aller et le retour est à son maximum au voisinage de la chaufferie. Il faut la réduire partiellement par des organes de réglage automatiques (détendeurs, régulateurs de débits, régulateurs de pression différentielle), de façon à obtenir une répartition uniforme de l'eau chaude conforme aux puissances.

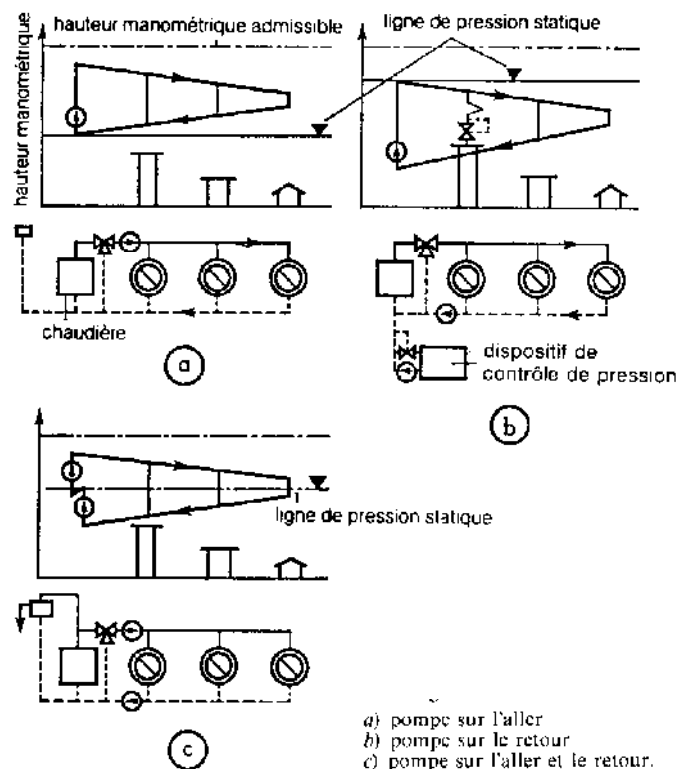


Figure 2.33- Distribution des pressions à charge maximale dans un chauffage urbain à eau chaude.

2.4.1.7- Sous-stations

Les sous-stations servent de relais entre la chaufferie principale et les constructions desservies. Celles-ci peuvent être du reste alimentées soit directement à partir d'une sous-station placée dans l'immeuble même, soit à partir d'une sous-station principale, laquelle dessert plusieurs sous-stations d'immeuble.

Les sous-stations sont classées, du point de vue de leur position par rapport aux bâtiments, en trois classes suivant leur puissance calorifique P_c : les sous-stations de 1^{ère} classe ($P_c > 5,8$ MW), de 2^{ème} classe ($70 \text{ kW} < P_c < 5,8$ MW) et 3^{ème} classe ($P_c < 70$ kW).

Les sous-stations de 1^{ère} classe doivent être placées en dehors de tout immeuble d'habitation, de bureaux ou recevant du public. Les sous-stations de 2^{ème} et 3^{ème} classes peuvent être placées à l'intérieur des immeubles d'habitation, de bureaux ou recevant du public, sans limitation de nombre.

Il existe de nombreux types de sous-stations suivant la température aller, la pression, le mode de régulation, le type d'exploitation, le système de comptage, etc.

2.4.2- Chauffage urbain à eau surchauffée

Il s'agit d'un système de chauffage de type fermé utilisant comme fluide caloporteur de l'eau dont la température dépasse 120°C . L'origine de ce type de chauffage remonte au chauffage de Perkins connu depuis longtemps mais tombé en désuétude actuellement. Le développement ultérieur du système en vue d'utiliser l'eau surchauffée comme fluide caloporteur de grosses quantités de chaleur dans les réseaux urbains repose sur le désir d'utiliser conjointement les avantages de la distribution par eau chaude et celle par la vapeur. Il a conduit à cette forme de distribution de la chaleur, le chauffage à eau surchauffée, dans lequel l'eau, fournie par une chaudière ou tout générateur dont la pression de vapeur est suffisante, est ensuite mise en circulation dans un réseau de tuyauteries par des pompes (Fig.2.34). Ces dernières années ce type de chauffage a pris une certaine extension au détriment du chauffage à vapeur haute pression limité à des applications particulières.

La température aller se situe habituellement entre 110 et 140°C , pouvant même atteindre parfois 180°C .

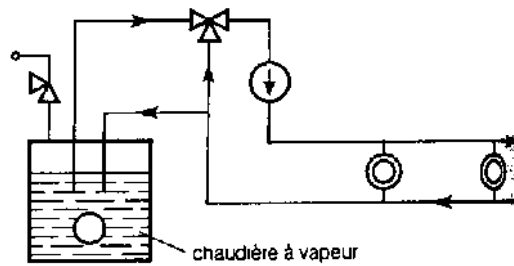


Figure 2.34- Production d'eau surchauffée à partir d'une chaudière à vapeur.

Avantages du chauffage urbain à eau surchauffée par rapport au chauffage à vapeur :

- absence d'installations pour le recyclage de condensats et donc des pertes qui lui sont liées;
- simplification dans le tracé des canalisations;
- pour des différences de température importantes, la capacité de transport du réseau est plus élevée ;
- régulation centrale et locale plus facile ;
- frais d'entretien réduits ;
- possibilité de stockage de la chaleur plus simple ;
- durée de vie des installations plus longue.

Inconvénients :

- frais d'investissement plus élevés dus aux pressions et températures plus élevée ;
- coût supplémentaire des échangeurs de chaleur en sous-station ;
- coût supplémentaire provoqué par les dispositifs de sécurité particuliers en chaufferie ;
- consommation permanente de courant électrique pour assurer le fonctionnement des pompes.

Le chauffage à eau surchauffée est principalement utilisé dans les chauffages urbains de grande envergure et lorsque certains abonnés ont besoin, en plus d'une installation de chauffage central conventionnelle, d'eau chaude ou de vapeur pour divers processus (industries textiles, laveries, abattoirs, etc.) ou pour le fonctionnement de complexes divers (hôpitaux, casernes, écoles, etc.). On peut alors disposer le réseau de canalisations au plus simple et sans tenir compte des pentes mais en prévoyant toutefois des dispositifs de dégazage aux points les plus élevés du réseau et des dispositifs de vidange aux points les plus bas.

2.4.2.1- Production de la chaleur

L'eau surchauffée est produite à partir de l'une des quatre méthodes suivantes :

1- Dans les *chaudières à vapeur usuelles* de toute sortes par immersion de deux tubes pour l'aller et le retour de l'eau surchauffée. Les chaudières produisent alors aussi bien de l'eau surchauffée que de la vapeur. C'est l'enceinte même où se trouve l'eau qui joue le rôle de chambre d'expansion (Fig.2.34).

Lorsque les besoins sont importants et fluctuants, la chambre d'expansion n'est pas suffisante, surtout pour absorber les forts débits d'eau nécessités à la mise en route et à l'arrêt. il faut alors prévoir au-dessus de la chaudière un vase d'expansion spécial avec enceinte à vapeur (Fig.2.35).

| Réchauffage de l'eau de 4°C à | Dilatation de l'eau en % |
|-------------------------------|--------------------------|
| 100 °C | 4,4 |
| 130 °C | 7,0 |
| 150 °C | 9,1 |
| 180 °C | 12,8 |
| 200 °C | 15,7 |

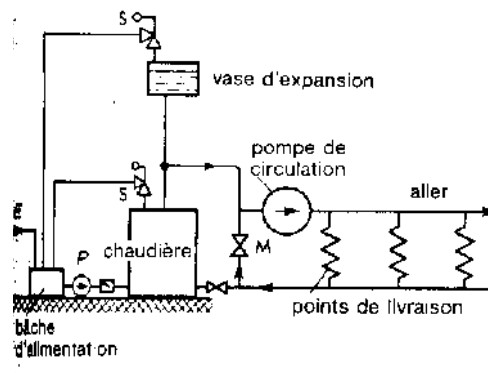


Figure 2.35- Schéma de principe d'un chauffage à E.S. avec chambre à vapeur dans le vase d'expansion.

Dans la tuyauterie aller, une diminution de pression est souvent à l'origine d'une formation de vapeur, ce qu'on évite en réalisant presque toujours un mélange de l'eau froide du

circuit retour avec l'eau surchauffée du circuit aller et ce dès la sortie de la chaudière ou même dedans. On place la pompe si possible sur l'aller afin d'augmenter la pression sur ce circuit. Lorsqu'on utilise simultanément plusieurs chaudières, il est difficile de maintenir le même niveau d'eau partout ; c'est pourquoi, dans la mesure du possible, on prévoit des conduites égalisatrices entre les chaudières ou bien on installe éventuellement une bache d'accumulation complémentaire.

2- A partir des *chaudières à eau surchauffée*; les chaudières ne contenant alors que de l'eau et pas de vapeur. On prévoit alors un vase d'expansion spécial pour absorber les dilatations volumiques de l'eau. Il existe cinq possibilités de réaliser la mise sous pression nécessaire :

- à partir de la propre vapeur contenue dans le vase d'expansion (Fig.2.36);
- à partir d'un gaz inerte (Fig.2.37) ;
- à partir de vapeur en provenance d'une chaudière haute pression ;
- à partir de corps de chauffe électriques placés dans le vase d'expansion ;
- à partir d'une pompe pilote.

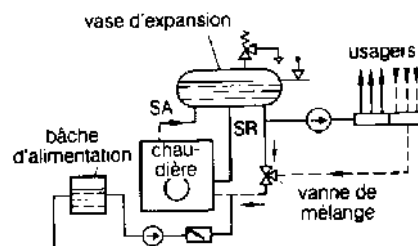


Figure 2.36- Chauffage à E.S. avec vase d'expansion en partie haute.

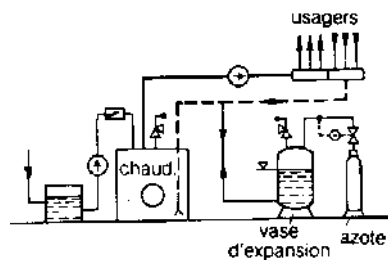


Figure 2.37- Chauffage à E.S. avec vase d'expansion en position basse et bouteille tampon d'azote.

3- Dans des *préchauffeurs-mélangeurs*. La vapeur produite dans une chaudière à vapeur est alors mise en contact direct avec l'eau chaude en circulation, ce qui a pour effet de produire la condensation de la vapeur et de réchauffer l'eau. Le brassage se fait à partir de *tuyères* qui injectent la vapeur dans l'eau ou bien à partir d'eau ruisselant en *cascades successives* dans un réservoir sous pression. Les préchauffeurs-mélangeurs en cascades se présentent sous la forme de réservoirs cylindriques à moitié remplis d'eau. L'arrivée de vapeur se fait en partie supérieure, de même que le départ de l'eau. La répartition de l'eau s'effectue à partir de panneaux perforés superposés, ce qui permet de réaliser une transmission de chaleur efficace de la vapeur à l'eau. La tuyauterie du côté aspiration de la pompe est raccordée en partie basse (Fig.2.38)

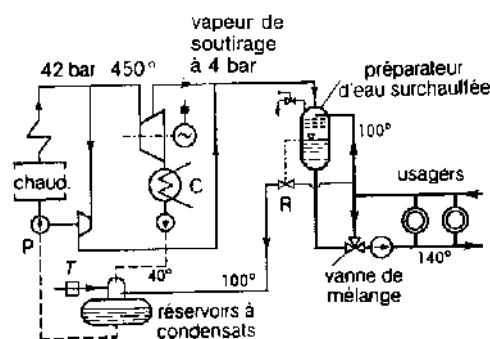


Figure 2.38- Chauffage à E.S à partir d'une chaudière à vapeur, d'une turbine à vapeur et d'un préchauffeur-mélangeur à cascades.

Un tel système a l'avantage de fournir une grande puissance sous un faible volume et la chute de température est très faible ; par contre, il faut tenir compte des pertes de condensats sur la chaudière.

- 4- Dans des *échangeurs de chaleur superficiels* (appareils à contre-courants). Dans ce cas, on utilise une chaudière à vapeur qui fournit de la vapeur à l'appareil à contre-courant dans lequel circule l'eau à réchauffer. Les circuits de vapeur et d'eau surchauffée sont donc totalement indépendants (Fig.2.39).

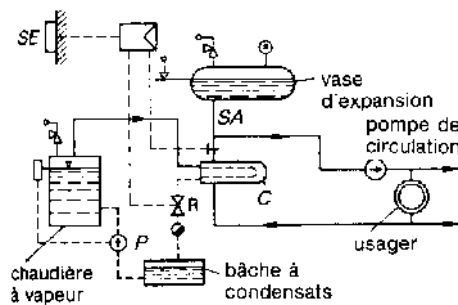


Figure 2.39- Chauffage à E.S. avec chaudière à vapeur et appareil à contre-courant ; régulation centrale en fonction de la température extérieure.

Il est nécessaire de prévoir un vase d'expansion avec soupape de sécurité sur le circuit d'eau surchauffée. La stabilité de la pression est assurée soit par la vapeur de la chaudière, soit par un autre gaz. Du fait des différences de températures dans l'échangeur, il faut une pression plus importante dans la chaudière.

2.4.2.2- Systèmes de canalisations

Le transport de la chaleur peut se faire de différentes manières. Dans le cas d'un système à deux canalisations, il y a un aller et un retour. C'est le système le plus courant.

La figure (Fig.2.40) montre la disposition des tuyauteries dans le cas d'un chauffage pur à eau surchauffée 130/110 °C raccordé à plusieurs bâtiments. Il est prévu deux ou plusieurs chaudières qui produisent de l'eau surchauffée à la température constante de 130 °C. La pression est maintenue constante par de l'azote. L'eau chaude destinée au chauffage des locaux est distribuée dans les différents bâtiments par l'intermédiaire de pompes à eau surchauffée. C'est un thermostat extérieur qui pilote un premier système de pré-régulation. Dans chaque bâtiment on a un chauffage à eau chaude classique de type fermé.

La production d'eau chaude sanitaire est de type centralisé avec un ou plusieurs réchauffeurs-stockeurs d'eau chaude dont un régulateur limite la température à 55 °C. Les circuits en chaufferie possèdent leurs propres pompes de circulation.

Dans le cas d'un système à 3 canalisations on dispose d'une conduite aller à température constante pour la chaleur industrielle (processus de fabrication), d'une seconde conduite aller à température variable pour le chauffage et une tuyauterie de retour commune.

Dans un système à quatre canalisations, deux tuyauteries servent à l'aller, les deux autres au retour.

Le choix du système le plus approprié dépend du rapport des quantités de chaleur destinées au chauffage d'une part, aux divers processus de l'autre.

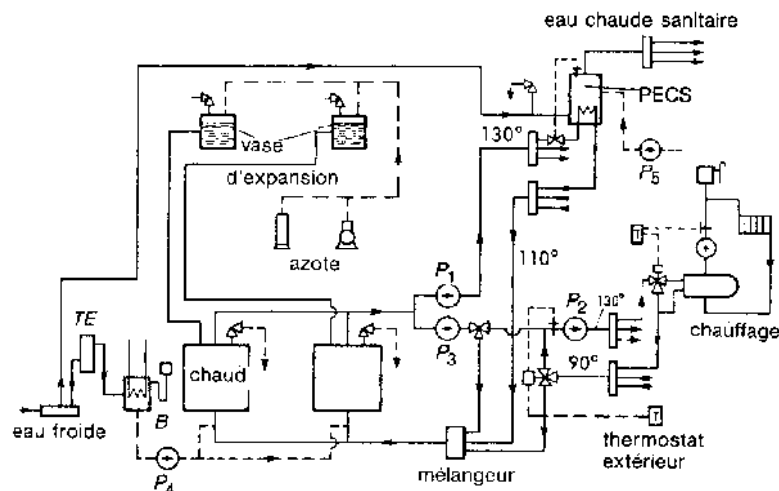


Figure 2.40- Schéma de principe d'un chauffage à E.S. desservant des immeubles d'habitation par l'intermédiaire d'un échangeur à contre-courant avec production centrale d'eau chaude sanitaire.

La figure (Fig.2.41) représente le schéma de principe d'une installation à eau surchauffée à quatre canalisations desservant des établissements industriels. La vapeur produite dans une chaudière à vapeur haute pression est transformée en eau surchauffée à 150 °C dans un appareil à cascades. Cette eau surchauffée est utilisée d'une part à température constante dans les processus de fabrication industrielle, d'autre part au chauffage, la température aller étant alors variable suivant la température extérieure, la température la plus faible étant obtenue par mélange avec de

l'eau de retour. De la chaufferie partent donc 2 canalisations aller, l'une pour la chaleur industrielle, l'autre pour le chauffage. De même pour le retour, il y a 2 conduites.

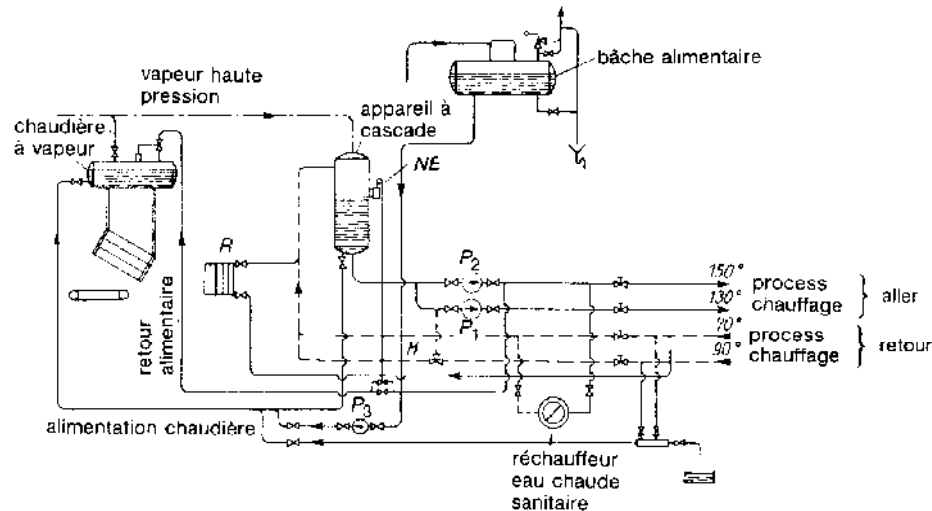


Figure 2.41- Schéma de principe d'une installation à E.S. à 4 canalisations pour établissement industriel avec chaudière à vapeur HP, préchauffeur-mélangeur en cascade et préparateur d'eau chaude sanitaire.

2.4.2.3- Températures aller et retour

Dans les établissements industriels, le choix de la température aller est fonction des besoins des différents processus, par exemple 130 à 160 °C dans les laveries, 155 à 160 °C dans les industries du caoutchouc et des câbleries, etc. Dans la mesure du possible, on ne dépassera une température aller de 180 °C pour pouvoir encore utiliser les organes d'arrêt en fonte admis tant que la pression nominale ne dépasse pas 10 bar et le diamètre nominal 200 mm.

Dans le cas d'installations de chauffage pur, la température aller peut varier dans de larges limites en fonction des conditions météorologiques.

La plupart des chaufferies fonctionnent à des températures maximales de 120 à 140 °C. L'écart des températures entre l'aller et retour est très variable suivant les installations, par exemple 160/80 °C ou 150/90 °C, etc. Au niveau de la chaufferie, les écarts sont souvent de 130/70 °C ou 110/40 °C.

Par principe, il faut choisir une différence aussi importante que possible car c'est alors que le réseau est de meilleur marché et la consommation d'énergie des pompes la plus faible.

2.4.2.4- Pompes de circulation

Les pompes de circulation pour eau surchauffée sont de construction particulière et leurs paliers sont refroidis par de l'eau dans le cas des hautes températures. On peut les placer au choix, soit sur l'aller, soit sur le retour. Montées sur le retour, les sollicitations dues aux températures sont moins élevées. Il est toujours nécessaire de vérifier les rapports des pressions dans le réseau (dans le cas le plus défavorable elle doit se situer au minimum entre 0,5 et 1,5 bar au dessus de la pression d'évaporation), car, en un point quelconque, la pression ne doit jamais être inférieure à celle de saturation correspondant à la température de l'eau sous peine d'être à l'origine de formation de vapeur d'où risque de coups de Bélier.

2.4.2.5- Sous-stations d'immeuble

L'eau chaude du réseau urbain peut être délivrée au circuit de l'immeuble soit directement soit, lorsque la température dans le réseau est élevée, indirectement par l'intermédiaire d'un échangeur de chaleur.

Le raccordement de type direct n'est possible que lorsque les corps de chauffe du bâtiment sont protégés des surpressions. Lorsque le raccordement d'immeuble est de type indirect, on utilise un échangeur de chaleur, ce qui permet de raccorder des immeubles en chauffage classique aussi bien à eau chaude qu'à vapeur.

2.4.3- Chauffage urbain à vapeur

La vapeur fournie par les chaudières à vapeur est envoyée dans le réseau urbain avec généralement une pression de 2 à 3 bar pour les petites installations et 12 bar maximum pour les grosses installations, tandis que les condensats sont renvoyés à la chaufferie par l'intermédiaire d'une pompe à condensats. Aujourd'hui, on préfère plutôt l'eau surchauffée pour assurer le transport de chaleur à grande distance à cause de sa meilleure régularité en fonction de la température extérieure. A présent, on n'utilise plus la vapeur que dans les installations destinées à la fourniture de chaleur industrielle.

Avantages par rapport au chauffage à eau surchauffée :

- possibilité de transport à grandes distances sans pompes (mais cependant avec une chute de pression) ;
- frais d'installation plus réduits ;
- conversion très simple de la vapeur haute pression en vapeur basse pression et eau chaude ;
- simplicité du comptage d'énergie thermique ;
- comptage facile avec des installations force.

Inconvénients :

- traitement des condensats difficile ;
- risques de corrosion dans les conduites de condensats ;
- rendement sur la production de courant proportionnellement plus faible dans le cas de couplage chaleur-force ;
- pas de possibilité de régulation centrale de la température ;
- difficulté de limiter les puissances ;
- pertes thermiques plus élevées.

Ce type de chauffage est surtout utilisé lorsque les clients désirent d'importantes quantités de vapeur à des fins industrielles.

La figure (Fig.2.42) représente le schéma de principe d'un chauffage à vapeur produite par une centrale force et desservant des réseaux de chauffage à eau chaude et chauffage à vapeur.

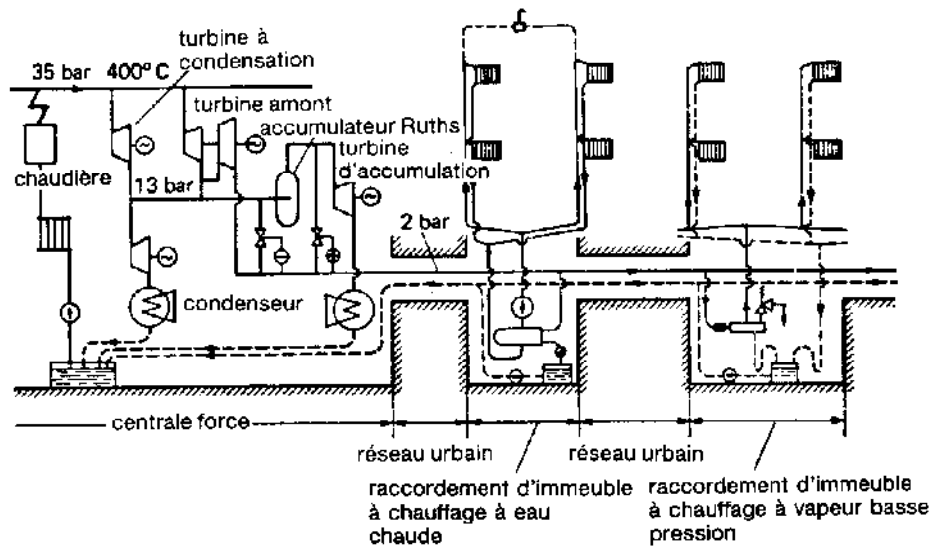


Figure 2.42- Schéma de principe d'un chauffage à vapeur par centrale chaleur-force desservant des constructions alimentées en chauffage soit à eau chaude soit à vapeur basse pression.

2.4.3.1- Production de vapeur

La vapeur peut provenir soit de chaudières à vapeur, il s'agit alors de vapeur vive, soit de turbines à vapeur des centrales force et il s'agit alors de vapeur de soutirage ou de vapeur perdue. Les condensats revenant du réseau de chauffage doivent être soumis à un traitement minutieux. C'est ce qui explique que dans les grosses installations, on sépare parfois les circuits de vapeur en intercalant un évaporateur. Mais ce système présente un inconvénient dû à la plus forte perte de charge.

2.4.3.2- Canalisations

Contrairement à ce qui se passe dans le cas de réseaux dans lesquels circule de l'eau, les canalisations transportant de la vapeur doivent toujours être disposées avec pente de façon à ce que les condensats qui prennent naissance par suite des pertes thermiques puissent s'écouler dans le même sens que la vapeur. La pente à prévoir est d'environ 1/1000 dans le cas d'un écoulement de même sens que la vapeur et de 1/50 dans le cas d'un écoulement contraire. Les canalisations de grande longueur seront disposées en zigzag ou en dents de scie, l'évacuation des condensats se faisant par un éliminateur placé au point le plus bas (Fig.2.43). La canalisation de condensats n'est

généralement pas calorifugée. On prévoit toujours des points fixes intermédiaires en des endroits appropriés ainsi que des compensateurs de dilatation pour absorber les variations de longueur des canalisations dues à la chaleur. Les *chambres de vannes* sont prévues tous les 50 ou 100 m.

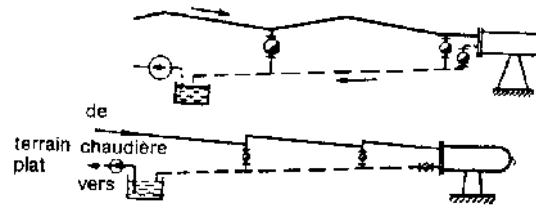


Figure 2.43- Evacuation des condensats d'une canalisation de chauffage urbain véhiculant de la vapeur.

2.4.3.3- Répartition de pression dans le réseau

Le niveau de la pression initiale et la perte de charge admissible doivent faire l'objet d'une étude cas par cas.

Les chaufferies ne fournissant de la chaleur qu'à des fins de chauffage ambiant fonctionnent généralement à des pressions de 3 à 6 bar.

Les centrales chaleur-force travaillent en surchauffe et la pression des chaudières atteint 80 bar.

Les clients sont pratiquement toujours assurés de disposer d'une pression minimale de 0.5 à 1,0 bar. Dans le cas d'établissements industriels consommant surtout de la vapeur, il est souvent nécessaire de prévoir plusieurs étages de pression.

La quantité de vapeur qui sera puisée par les différents utilisateurs est fondamentalement variable et ne peut donc être déterminée à priori. Il en résulte que la pression de vapeur qui règne dans le réseau fluctue en permanence. Par conséquent, en vue de bien fournir les puissances thermiques souscrites et garanties, il est nécessaire de contrôler la pression en différents points du réseau et donc de piloter la pression initiale soit automatiquement au moyen d'un régulateur, soit manuellement.

2.4.3.4- Retour des condensats

Les condensats qui prennent naissance dans les tuyauteries et au niveau des utilisateurs peuvent être soit renvoyés à la chaudière soit évacués en différents points prévus à cet effet (attention dans ce cas à la température maximale admissible).

On distingue plusieurs cas :

- retour par pente naturelle ;
- retour par pompe à condensats ;
- condensats en circuit fermé
- installation sans retour des condensats ;

Remarque :

Afin de ne pas perturber le réseau lors des soutirages de pointe des utilisateurs, certaines installations sont équipées de limiteurs de puissance (limiteur de débit de vapeur ou de condensats, régulateur de pression différentielle).

2.4.3.5- Stockage de chaleur

Contrairement à ce qui se passe lorsqu'il s'agit d'eau, les réseaux de vapeur n'ont pratiquement aucune possibilité de stockage. Il faut donc prévoir des réservoirs-accumulateurs pour satisfaire aux surcharges de pointe. Il en existe deux types :

- *Accumulateur à pression variable* (type Ruths) : Lorsqu'il y a excédent de vapeur, celle-ci est emmagasinée dans le réservoir et envoyée dans le réseau lorsqu'il y a demande.
- *Accumulateur à pression constante* : L'excédent de vapeur sert à la production d'eau surchauffée mise en réserve dans une bache en communication avec la chaudière à vapeur et conservée jusqu'à ce qu'il y ait demande (chute de pression).

2.4.3.6- Sous-stations d'immeuble

- *Raccordement d'un chauffage à vapeur basse-pression* : Il est possible de raccorder l'installation de chauffage soit directement par l'intermédiaire d'une vanne réductrice de pression, soit indirectement par l'intermédiaire d'un évaporateur.

Dans le cas d'un raccordement direct (Fig.2.44), la vapeur s'écoule par l'intermédiaire d'une vanne d'arrêt et d'une vanne réductrice jusqu'au répartiteur et de là vers les abonnés raccordés.

On prévoit sur le répartiteur une soupape ou un siphon de sécurité. Les condensats sont envoyés vers le réservoir-collecteur en passant par un pot de dégazage et un compteur. C'est une solution bon marché mais qui n'assure pas toujours le retour intégral des condensats.

La vapeur du réseau urbain est convertie en vapeur basse pression dans un évaporateur. La vapeur du réseau urbain et celle de l'installation de chauffage circulent alors en circuits fermés.

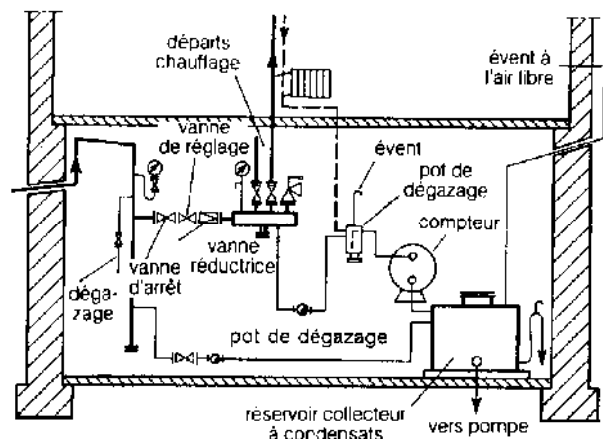


Figure 2.44- Sous-station d'immeuble vapeur HP/BP de type à raccordement direct.

Dans le cas d'un raccordement indirect (Fig.2.45), les condensats ne perdent pas leurs quantités dans le réseau urbain; c'est donc une solution plus intéressante que le raccordement direct. L'arrivée de vapeur est pilotée par un régulateur de pression dans le réseau basse pression ou la régulation s'effectue à partir de la bêche à condensats.

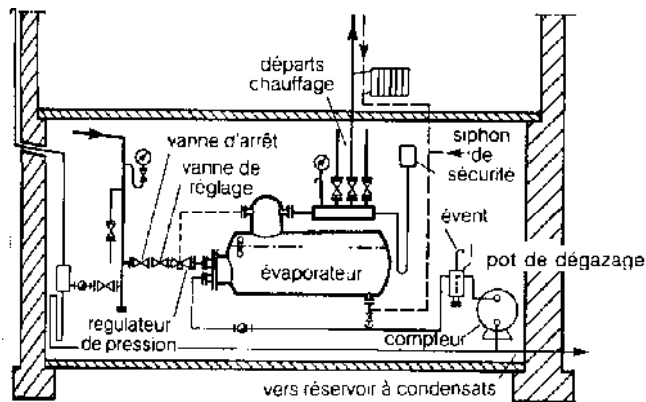


Figure 2.45- Sous-station d'échange d'immeuble à vapeur HP/BP de type à raccordement indirect par évaporateur.

- Raccordement d'un chauffage à eau chaude (Fig.2.46) : La vapeur provenant du réseau urbain est convertie en eau chaude par un échangeur de chaleur, le plus souvent un appareil à contre-courants. La température de l'eau chaude est pilotée par un régulateur de température. On prévoit une sonde sur l'aller du circuit d'eau chaude et sur l'air extérieur ainsi qu'une vanne de régulation sur la tuyauterie de vapeur.

En vue d'une meilleure utilisation de sa chaleur et pour éviter toute post-évaporation, on peut refroidir les condensats jusqu'à environ 50 °C dont un refroidisseur approprié. La chaleur récupérée est alors utilisée pour le chauffage de l'eau chaude ou mieux encore pour la préparation d'eau chaude sanitaire.

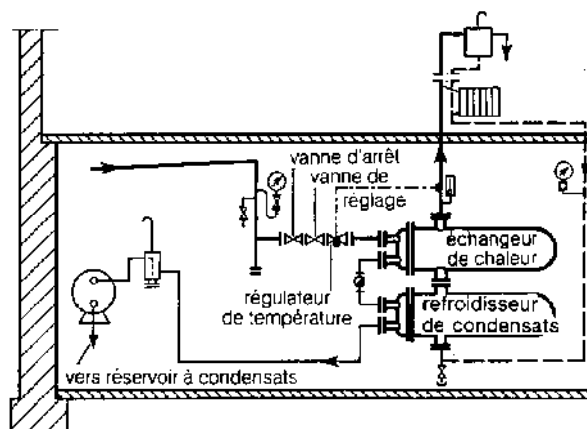


Figure 2.46- Sous-station d'échange d'immeuble vapeur HP/eau chaude.

- *Raccordement d'une installation de préparation d'eau chaude sanitaire* : Le système est semblable à celui d'un chauffage à eau chaude. On distingue deux cas :

Dans le cas du *réchauffage direct de l'eau*, le préparateur d'eau chaude sanitaire est équipé d'une robinetterie spéciale avec tuyauterie d'amenée de vapeur sur laquelle on place une vanne réductrice et une soupape de sécurité. On prévoit un régulateur de température en vue de limiter la température de l'eau soutirée. Un tel système n'est pas possible quand l'installation est raccordée au réseau de distribution d'eau public.

Dans le cas d'un *réchauffage indirect de l'eau*, le séparateur d'eau chaude contient un serpentin où le réchauffage de l'eau a lieu dans un échangeur de chaleur séparé.

2.5- Couplage chaleur-force

Le rendement thermique des centrales qui ne produisent que de l'électricité à partir de turbines à vapeur du type à condensation est très faible.

La plus grande partie de la chaleur contenue dans le combustible est perdue du fait que la vapeur sortant des turbines est condensée au moyen d'eau de refroidissement dans un condenseur ce qui fait qu'ensuite elle n'est plus utilisable vu sa faible température (Fig.2.47).

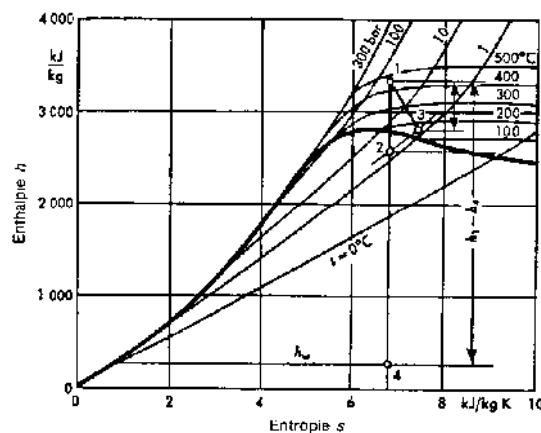


Figure 2.47- Cycle d'une turbine à vapeur dans le diagramme h-S.

Le rôle d'une centrale chaleur-force est de récupérer la chaleur d'évaporation contenue dans la vapeur sortant de la turbine et de la valoriser pour qu'elle puisse servir à des fins de

chauffage. On remplace donc à cet effet le condenseur qui renverrait sinon la chaleur dans l'atmosphère par un récupérateur. La centrale va donc produire aussi bien de l'électricité que de la chaleur dans ce qu'on appelle un cycle de production couplée chaleur-force. Le rendement global de la centrale va se situer alors aux alentours de 75 à 80% alors que les grosses centrales haute-pression de production d'électricité seule ont un rendement global qui ne dépasse pas 38 %. La figure (Fig.2.48) représente le schéma de principe d'une centrale chaleur-force.

L'intérêt économique d'une telle réalisation provient de ce qu'avec une meilleure valorisation de la chaleur, le prix de l'électricité comme celui de la chaleur produite diminue.

A quoi il faut encore ajouter, ce qui s'inscrit du reste dans le cadre général des économies d'énergie, que les centrales chaleur-force desservant d'importants réseaux de distribution de chaleur à distance, permettent d'économiser de grandes quantités d'énergie primaire. De même, la pollution de l'environnement due aux gaz brûlés et aux rejets de poussières se trouve considérablement réduite. Dans les centrales chaleur-force modernes, chaque MWh de chaleur libérée au générateur permet de produire 200 à 400 kWh de courant électrique, ce qui pour un coût de ce dernier de 0,15 FF par kWh signifie une réduction de 30 à 60 FF par MWh. Malheureusement, le nombre de centrales de production d'électricité capables de fonctionner en couplage chaleur-force est actuellement très réduit. En outre, le développement des réseaux de chauffage à distance nécessite des investissements considérables, ce qui fait que ce type de distribution de chaleur ne sera véritablement rentable que si le prix du pétrole continuait à augmenter et encore faudrait-il alors que les pouvoirs publics rendent ce type de desserte obligatoire pour les constructions neuves réalisées dans un certain périmètre de la centrale. Le principal concurrent de ce type de chauffage est le gaz naturel, sa distribution à distance couvrant à présent de très nombreuses régions.

Pour qu'une centrale chaleur-force soit actuellement rentable il faut qu'elle soit capable de fournir une puissance thermique d'environ 50 MW, ce qui permet de desservir des cités de 6 à 7000 logements, les besoins calorifiques moyens de chaque logement étant proches de 7,5 kW.

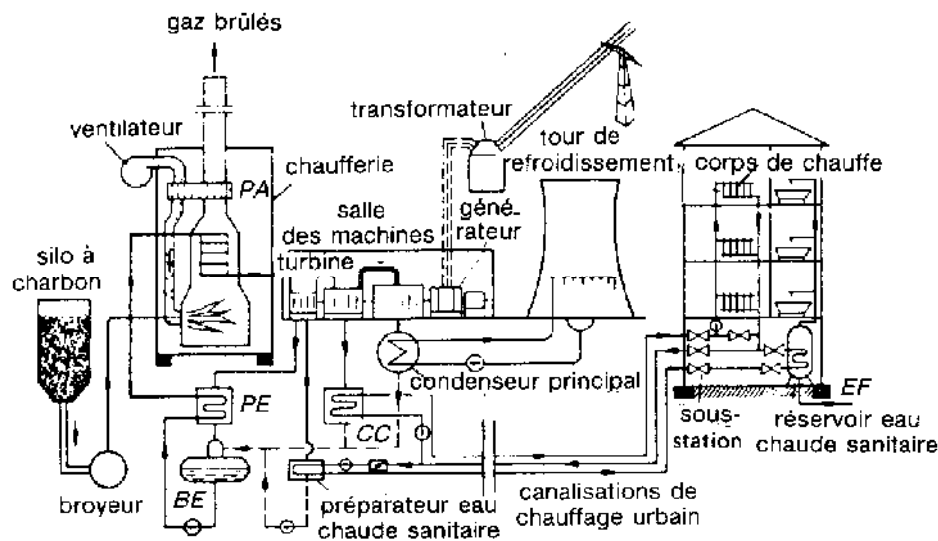


Figure 2.48- Centrale chaleur-force desservant un chauffage urbain à trois canalisations.

Emplacement

Pour des raisons économiques, la centrale chaleur-force sera placée autant que faire se peut aussi près que possible des utilisateurs, car c'est lorsqu'elle se trouve au centre de gravité de ceux-ci que le coût d'investissement est le plus faible. L'éloignement maximal sera de 15 à 20 km. On s'oriente actuellement vers le refroidissement le plus fort possible de l'eau du retour, ce qui permet de ne pas prévoir de canalisation correspondante. Il est ainsi possible de desservir des points encore plus éloignés. Mais un certain nombre d'autres circonstances comme l'approvisionnement en combustible, l'évacuation des cendres, l'alimentation en eau froide, l'emplacement des tours de refroidissement, l'achat du terrain, la pollution de l'environnement tant par les rejets que par l'aspect de la centrale font qu'en définitive celle-ci ne sera située qu'en périphérie.

Mais dans ce dernier cas, il est alors souvent possible de fournir également de la chaleur à des établissements industriels. Pour qu'une centrale chaleur-force soit rentable, il est nécessaire que la densité thermique des constructions desservies atteigne une certaine valeur, celle-ci étant d'ailleurs très variable pour se situer entre 20 et 30 MW/km² dans le cas de cités type dortoir et 40 à 100 MW/km² dans le cas de centres-villes. Les densités thermiques les plus élevées (>200W/m²) se rencontrent avec ces centres-villes tandis que les plus faibles (<20 W/m²) concernent des cités pavillonnaires. Dans certains cas, on peut aussi parler de densité linéaire de réseau, celle-ci se situant entre 1et 6 MW/km. Au stade de l'avant-projet, il est indispensable d'effectuer un calcul de rentabilité très précis. Pour minimiser les frais d'investissement, les besoins de pointe en fourniture chaleur pourront être couverts par des installations spéciales, par exemple turbines à gaz, chaudières à fuel, accumulateurs, etc. La tendance s'oriente actuellement vers le raccordement à des réseaux urbains même de cités pavillonnaires.

Les centrales chaleur-force sont réparties en centrales équipées de turbines à vapeur, de turbines à gaz ou de type bloc (petite centrale installée à proximité d'une ville de puissance électrique relativement faible entre 0,5 et 10 MW et équipée de moteurs à combustion (Fig.2.49).

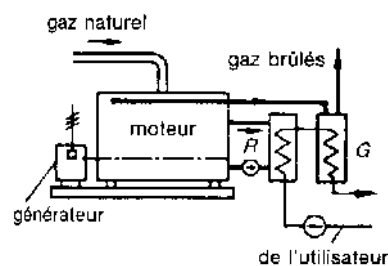


Figure 2.49- Schéma de principe d'une centrale-bloc chaleur-force.

2.6- Chauffage par pompe à chaleur

Grâce à une pompe à chaleur, il est possible, mais à condition de dépenser du travail, de puiser au cours d'un cycle de la chaleur (ou plus précisément de l'anergie, c'est-à-dire de la chaleur qui serait sinon inutilisable) de l'environnement et de l'utiliser ensuite à un niveau de température supérieur à des fins de chauffage, la quantité de chaleur récupérée étant égale à un multiple de l'équivalent thermique du travail dépensé. Par exemple, dans le cas d'une pompe à

chaleur à moteur électrique, il est possible par kW de puissance du moteur, de fournir une énergie thermique de 3 ou 4 kW alors que si l'on avait affaire à un chauffage électrique direct par résistance, il est bien évident qu'on n'aurait pas pu fournir plus de 1 kW de chaleur. La quantité totale de chaleur disponible à des fins de chauffage se compose de deux parties : d'une part la quantité de chaleur pompée d'un niveau de température inférieur à un niveau supérieur et de l'autre l'équivalent calorifique du travail dépensé à cet effet.

La pompe à chaleur travaille donc comme une machine frigorifique à cette différence près toutefois qu'on se préoccupe moins de la puissance frigorifique de l'évaporateur que de la puissance calorifique du condenseur.

La pompe à chaleur permet de tirer parti de source de chaleur (sources froides) dont la température est relativement basse, par exemple eau de la nappe phréatique, sol, air extérieur et ce à des fins de chauffage de locaux, production d'eau chaude sanitaire, réchauffage d'eau de piscine, etc.

On parle de récupération de chaleur lorsque, par exemple au moyen d'une pompe à chaleur, on utilise la chaleur contenue dans des eaux usées pour réchauffer de l'eau chaude sanitaire ou encore la chaleur de l'air évacué d'une installation de ventilation pour réchauffer l'air neuf soufflé. En outre, presque toutes les machines frigorifiques autorisent une double utilisation lorsqu'il y a besoin simultanément dans une installation donnée de chaleur et de froid, c'est-à-dire lorsqu'il y a excès de chaleur en un point donné et en même temps besoin de chaleur autre part (transfert de chaleur).

Des conditions identiques sont réunies lorsqu'on se trouve en présence de complexes sportifs réunissant piscine à chauffer et patinoire à refroidir.

Dans de nombreux processus industriels, il est également possible de réaliser d'importantes économies d'énergie en mettant en œuvre une ou plusieurs pompes à chaleur.

Les pompes à chaleur font l'objet d'une normalisation.

- Fondements théoriques

D'après le second principe de la thermodynamique, il est toujours nécessaire de dépenser du travail pour relever de la chaleur d'un niveau de température inférieur à un niveau plus élevé.

Un tel processus s'effectue au cours d'un cycle qui, comme dans le cas d'une machine frigorifique, nécessite un certain appareillage (Fig.2.50) :

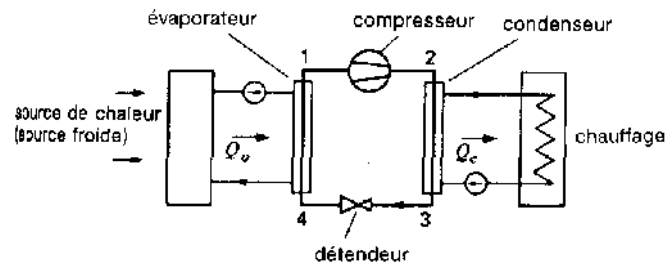


Figure 2.50- Schéma de principe d'une pompe à chaleur.

Il est possible de représenter l'évolution d'un tel cycle théorique dans un diagramme T-S (Fig.2.51) :

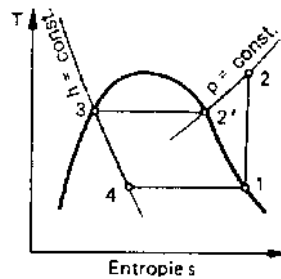


Figure 2.51- Cycle théorique de la pompe à chaleur représenté dans le diagramme T-S.

Ce système a pour but de soutirer à un milieu dit « source froide », par le moyen d'un fluide spécial, une certaine quantité de chaleur qu'il cède à un autre milieu dit « source chaude ». La source froide est généralement un cours d'eau ou une nappe aquifère et la source chaude un ballon échangeur alimentant une installation de chauffage.

A l'aide d'un fluide frigorigène circulant dans un circuit fermé sous l'action d'un compresseur, on soutire de la chaleur à une source extérieure, par exemple à l'eau d'une rivière. Le fluide gazeux ainsi réchauffé est comprimé à l'aide d'une pompe (compresseur), qui lui cède la quantité de chaleur provenant de son travail. Le fluide frigorigène comprimé renferme alors, d'une part, les calories prélevées sur la source extérieure et, d'autre part, les calories provenant du travail de la

pompe. Le gaz ainsi réchauffé pénètre dans un échangeur où il se refroidit, puis se liquéfie en cédant la chaleur de refroidissement et la chaleur de condensation à l'eau du circuit de chauffage. Le fluide liquéfié, encore sous pression, traverse une soupape de détente, se vaporise et, une fois à l'état gazeux, continue son parcours et parvient à nouveau au contact de la source extérieure, et le cycle recommence.

Les principaux fluides frigorigènes les plus utilisés dans les pompes à chaleur sont le R 12, R 22 et R 502. Mais celui qu'on rencontre le plus souvent c'est le R 12.

2.7- Chauffage solaire

Le soleil envoie chaque jour d'importantes quantités d'énergie à la surface de la terre. A la limite supérieure de l'atmosphère, l'intensité du rayonnement atteint environ 1.35 kW/m^2 alors qu'à la surface de la terre elle n'est plus au maximum que d'environ 1 kW/m^2 .

On a donc cherché depuis longtemps à utiliser cette chaleur gratuite à des fins de chauffage. Mais il est évident qu'on ne pourra atteindre un certain résultat que dans les régions où la durée du rayonnement solaire est suffisamment importante durant la période d'hiver, ce qui est le cas par exemple en Europe méridionale ou en Afrique du Nord où le soleil brille environ 4000 heures par an alors qu'en France ce chiffre doit être ramené entre 1600 pour Lille et 2800 pour Nice.

Un certain nombre d'installations de construction et puissance diverses sont actuellement en fonctionnement ou en cours de réalisation dans de nombreuses régions ensoleillées et produisent soit de la chaleur nécessaire à des processus industriels soit de l'électricité.

Les installations de chauffage solaire fonctionnent de telle sorte que l'énergie solaire soit interceptée par des capteurs puis, au moyen d'un circuit de médium caloporteur, par exemple un mélange d'eau et d'antigel, envoyée dans un accumulateur. Cette eau est ensuite utilisée à des fins de chauffage exactement comme dans une installation classique (Fig.2.52). Les capteurs sont souvent disposés en toiture, mais peuvent être bien entendu placés en tout autre endroit.

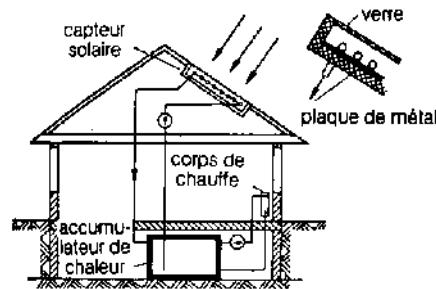


Figure 2.52- Schéma de principe d'une installation de chauffage solaire.

Capteurs

Le capteur le plus simple, dit *capteur plan*, se compose d'une plaque de métal bien plane noircie sur laquelle on a fixé des tubes où circule de l'eau. En sous face de la plaque de métal se trouve un isolant thermique tandis que la partie supérieure est fermée par une ou deux plaques de verre, destinées à réduire les pertes thermiques vers l'environnement.

A la place du métal (aluminium, cuivre, acier inoxydable), on peut également utiliser des plaques ou des tubes en matière plastique non corrosive ou tout autre système. Mais dans tous les cas, il faut bien veiller à la protection anticorrosion et à la tenue à la température.

Le rayonnement solaire incident, réduit toutefois d'environ 15% par réflexion et absorption sur les vitres en verre, est transformé en chaleur par le capteur. Mais là, il faut encore compter qu'une partie de la chaleur piégée sera perdue par rayonnement, convection et conduction (principe de la serre).

Il existe d'autres types de capteurs Si qui ont pour effet de concentrer le rayonnement solaire sur des tubes dans lesquels circule de l'eau ou directement sur une chaudière. La concentration peut se faire le long d'une ligne à l'aide d'un miroir cylindrique à génératrice parabolique, autour de plusieurs points par des miroirs paraboliques ou parfois autour d'un seul point. De tels dispositifs sont très efficaces mais aussi très chers; ils sont plus particulièrement adaptés à des applications industrielles.

En vue d'améliorer encore de rendement des capteurs, on a dû mettre au point des modèles de conception particulière. Certains d'entre eux sont réalisés à partir de tubes en verre sous vide avec recouvrement interne spécifique, la tuyauterie d'eau se trouvant à l'intérieur du tube. Dans

d'autres cas, on utilise un caloduc avec couverture en verre ou encore des films de polychlorure de vinyle ou de polyéthylène soudés entre eux et formant un réseau de conduits.

Avec des capteurs spéciaux d'excellente qualité, on peut atteindre des températures dépassant largement les 100 °C. Il faut alors prendre des mesures particulière du point de vue sécurité (vannes de sécurité, sécurités thermostatiques, etc.). Lorsqu'on désire atteindre des températures encore plus importantes, on utilise des *miroirs paraboliques*, des *lentilles* ou autres *capteurs à concentration*, tous ces dispositifs étant le plus souvent associés à des systèmes de positionnement sophistiqués pour leur permettre de suivre les mouvements du soleil. Il faut noter que les capteurs solaires font l'objet d'une normalisation.

2.8- Chauffage à partir des centrales thermiques

Les centrales thermiques peuvent fonctionner à partir de combustibles fossiles ou nucléaires. Mais dans les deux cas, il faut distinguer celles qui sont conçues exclusivement pour fournir de l'électricité (*centrales électrogènes*) et celles qui sont conçues pour fournir et de l'électricité et de la chaleur (*chaleur-force*).

En ce qui concerne les *centrales chaleur-force*, il est toujours prévu par définition les équipement nécessaires pour assurer la fourniture de chaleur à des températures élevées. De telles centrales sont conçues en production mixte chaleur-électricité dès leur construction (c'est le cas de toutes les centrales nucléaires construites depuis 1981) ou bien elles peuvent être modifiées ultérieurement en conséquence.

Pour les *centrales électrogènes*, lesquelles peuvent fonctionner à partir de combustibles fossiles ou nucléaires, seule une fraction de la chaleur produite est transformée en électricité, cette fraction dépendant conformément au second principe de Carnot, de la différence de température entre la source chaude et la source froide et étant de l'ordre de 38% pour les centrales à combustibles fossiles et les surrégénérateurs et de 33 % pour les centrales nucléaires courantes. La chaleur restante est évacuée à de l'air ou à de l'eau et c'est précisément cette dernière, dite « eau de refroidissement » qui peut être récupérée à des fins de chauffage.

Les circuits de refroidissement sont représentés sur les figures (Fig.2.53) dans le cas d'une centrale thermique à combustible fossile, (Fig.2.54) dans le cas d'une centrale thermique à combustible nucléaire de la deuxième génération et (Fig.2.55) dans le cas d'une centrale

thermique nucléaire de la troisième génération. Ces deux derniers types de centrales nucléaires se distinguent l'une de l'autre par le fait que les réacteurs de la deuxième génération (filiale à uranium enrichi et eau sous pression, dite PWR) ne permettent d'utiliser que 3% de l'énergie contenue dans l'uranium alors qu'avec des réacteurs de la troisième génération (ou surrégénérateurs à neutrons rapides refroidis au sodium) on peut utiliser jusqu'à 100% de l'énergie contenue dans l'uranium. Le fonctionnement de tels réacteurs est basé sur des processus de fission nucléaire qui dégagent d'énormes quantités d'énergie. Un kg d'uranium 235 libère par fission autant d'énergie que 3 millions de kg de charbon. Dans un avenir plus lointain, la fission nucléaire sera remplacée par la fusion, un kg de deutérium développant alors une énergie triple de la précédente.

Les eaux dites de refroidissement sont celles qui servent au refroidissement des condenseurs. Il faut alors distinguer deux types de circuits : le circuit ouvert et le circuit fermé.

Le circuit ouvert est le moyen le plus simple. On l'utilise pour les centrales en bord de mer ou sur les fleuves à gros débit. Il consiste à prélever par pompage un certain débit et après passage dans le condenseur, à restituer cette eau ainsi échauffée dans le milieu naturel. Une récupération des eaux chaudes dans ce cas consiste en un prélèvement entre le condenseur et le rejet. La température est alors celle de la mer ou du fleuve augmentée de l'échauffement au condenseur (ΔT). Cet échauffement varie entre 7 et 15 K. Il est de 12 K en mer et 10,4 K en rivière pour les tranches PWR de 900 MW, de 15 K en mer et 11K en rivière pour les tranches de 1 300 MW, dans le d'un fonctionnement à pleine charge.

Le circuit fermé équipe les centrales dont les calories ne peuvent être évacuées dans le milieu aquatique en raison de l'insuffisance des débits fluviaux et des dommages que risqueraient de subir la faune et la flore aquatiques sous l'effet des échauffements. Les calories sont alors évacuées à l'atmosphère dans des tours de réfrigération où l'eau venant du condenseur est dispersée en fines gouttelettes ou en film pour augmenter la surface de contact avec l'air. Celui-ci s'échauffe et se charge de la vapeur résultant de l'évaporation partielle de l'eau à son contact. L'eau ainsi refroidie est renvoyée au condenseur.

Dans le cas de centrales thermiques non prévues pour fonctionner en chaleur-force, la différence de température disponible est très faible et ne peut être utilisée à des fins de chauffage de locaux. Par contre, cette eau peut servir en agriculture pour assurer le chauffage de serres par

gainés et tuyaux ou par ruissellement ou encore le chauffage de sols en, plein champ mais elle peut aussi servir en aquaculture, de nombreuses réalisations expérimentales ou non ayant vu le jour. Seules les centrales chaleur-force peuvent desservir des installations de chauffage de locaux type chauffage urbain.

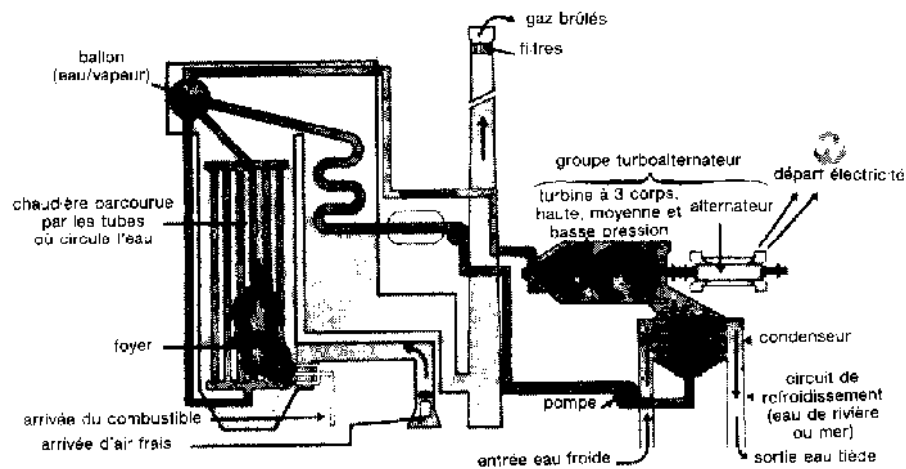


Figure 2.53- Centrale thermique à combustible fossile.

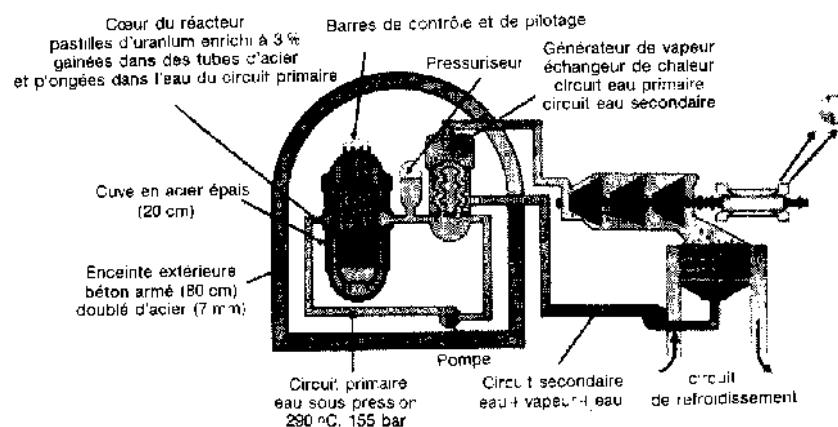


Figure 2.54- Centrale thermique à combustible nucléaire de la deuxième génération.

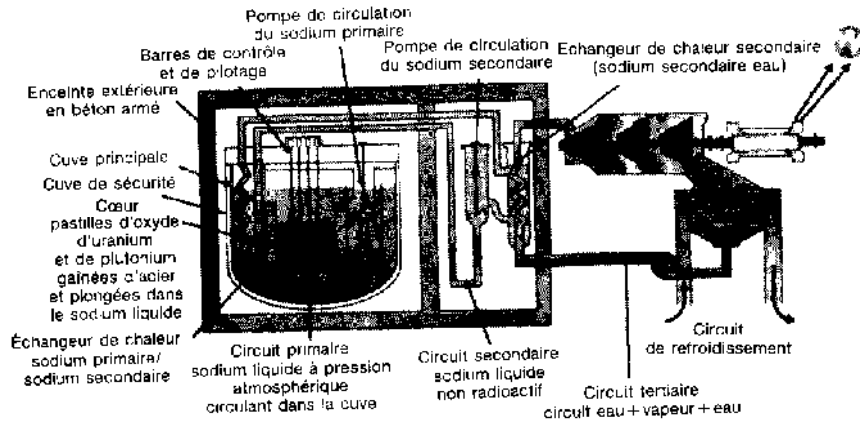


Figure 2.55- Centrale thermique à combustible nucléaire de la troisième génération.