

Article Chaud Froid Performance du mois d'Avril 2011

**Condensation :
Comment optimiser son fonctionnement ?**

Condensation : optimiser son

Les réglementations thermiques récentes et la recherche de certificats d'économie d'énergie ont récemment permis de développer les chaufferies dotées de chaudières à condensation. Pour autant, ces équipements, attrayants et prometteurs, sont-ils correctement installés et exploités ? Les logiciels de calcul réglementaires considèrent que l'environnement des chaudières est optimal ; ce n'est pas toujours le cas.

Dans cet article, Hervé Sébastia, chargé de missions nouveaux marchés collectifs au service marketing de la société Atlantic-Guillot revient sur tous ces points. Il y développe le savoir et l'expérience acquise par cette entreprise depuis plusieurs décennies dans le domaine de la condensation.

Que souhaitons-nous mettre en évidence dans ce dossier ? En priorité qu'il ne s'agit pas de placer des chaudières à condensation pour augmenter le rendement de son installation. Il faut tenir compte de l'environnement dans lequel elles sont installées et la façon dont elles sont exploitées. Après le passage en revue des paramètres qui influent sur la performance, nous développerons les fondamentaux de la condensation tout au long de cet article.

Le lecteur retrouvera aussi quelques rappels essentiels ainsi que quelques cas pratiques d'optimisation de cette technologie étayés par des schémas simplifiés extraits de la «schémathèque haute performance Atlantic Guillot».

Introduction : les paramètres d'optimisation de la condensation

L'optimisation de la condensation et le gain théoriques qu'il est possible d'atteindre dépendra :

- du type de combustible qui alimente la chaufferie ;
- du type de brûleur associé et de son réglage de combustion ;
- de la puissance mise en place par rapport aux besoins réels ;
- du type de régulation de cascade primaire adoptée en présence de plusieurs générateurs ;
- du type de régulation choisie pour piloter les différents circuits secondaires ;
- de la bonne communication entre les différents régulateurs primaire et secondaires de l'installation ;
- du type de chaudière à condensation sélectionnée, deux, trois ou quatre piquages.

1. Le combustible

Il faut rappeler que la performance de la condensation dépend en premier lieu du combustible. Les thermiciens le savent : entre le gaz et le fioul, il existe des différences de rendement

Rappel 1

Quelle technologie adopter face à l'acidité des condensats ?

Même si la chose est connue et partagée par la filière des thermiciens et par tous ceux qui se préoccupent de l'évacuation des condensats et des fumées depuis les premières expériences de la condensation il y a trente ans, il faut souligner que les matériaux et les apports de soudures utilisés dans les chaudières doivent être adaptés à l'agressivité des condensats. L'acidité des condensats issus des géné-

rateurs à gaz est équivalente à celle des eaux de pluie : leur potentiel hydrogène (pH) est de 4 à 5. En revanche, avec le combustible fioul, beaucoup plus chargé en soufre, ils sont encore plus agressifs : leur pH s'établit entre 2 et 3. C'est pour cette raison qu'il convient de les traiter pour les rendre neutre, avant de le rejeter à l'égout. Les chaudières condensation fonctionnant au fioul ayant des condensats très acides,

il faut par conséquent porter une attention particulière à la conception de leur condenseur. Une technique qui a fait ses preuves depuis les années 80 sur les récupérateurs de chaleur à condensation consiste à les réaliser en Inox 316 L et sans soudure (Totaleco) ; les liaisons sont dudgeonnées dans les plaques tubulaires pour éviter de subir une corrosion par les condensats acides.

comment fonctionnement ?

global annuel. Ce point est résumé dans le **tableau 1** : il indique que le gain théorique maximal de rendement peut atteindre de 7 % à 11 % selon le combustible utilisé.

Tableau 1. Caractéristique des combustibles

Type de combustible	PCS/PCI	Température de rosée
Gaz naturel Algérie (Fos)	1,11	59,1 °C
Propane commercial	1,08	53,9 °C
Fioul domestique	1,07	51,6 °C

Chaque combustible permet d'atteindre un niveau de PCS sur PCI optimal et une température de rosée spécifique.

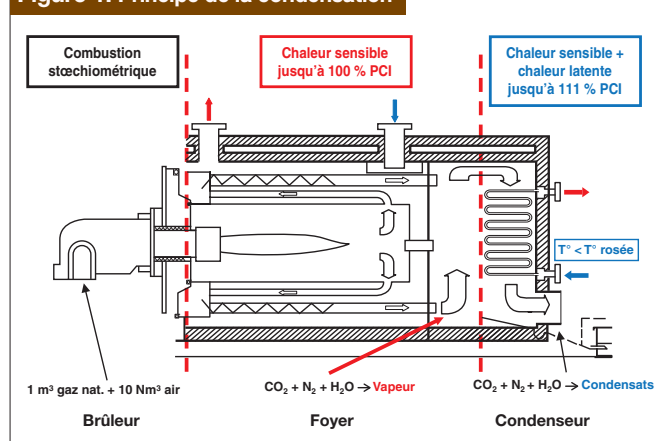
Ce rendement optimal s'obtient :

- par une combustion idéale, dite stœchiométrique, basée – pour le cas du gaz naturel – sur un mélange de 1 m³ de combustible avec 10 Nm³ d'air ;
- par l'exploitation de la chaleur sensible des produits de combustion jusqu'à 100 % sur PCI (pouvoir calorifique inférieur) ;
- par la récupération de la chaleur latente, en condensant la vapeur d'eau contenue dans les fumées au contact d'un échangeur dont la température de surface doit être la plus basse possible et inférieure à la température du point de rosée. Cette transformation d'état, lorsqu'elle est complète, produit une énergie pouvant atteindre 11 % sur PCI.

2. Se rapprocher de la combustion idéale

En second lieu, l'exploitant doit se rapprocher de la combustion stœchiométrique. Sa maîtrise s'obtient par la limitation de l'excès

Figure 1. Principe de la condensation



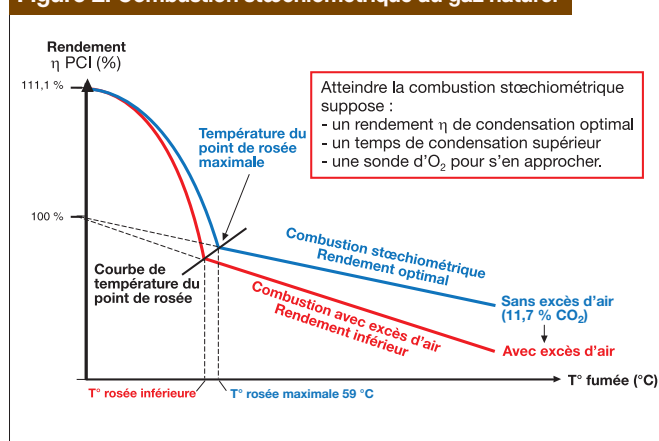
La condensation repose sur l'exploitation complète de la chaleur sensible et de la chaleur latente.

d'air dans le mélange apporté au brûleur, ce pour avoir un point de rosée à une température la plus élevée possible. Ce gain de température de point de rosée aura pour effet d'optimiser le rendement de condensation et d'augmenter le nombre de jours de condensation dans l'année lorsque les émetteurs adoptent un régime haute température – on le verra dans les exemples dans cet article – (voir l'encadré Rappel 2 et les **figures 1 et 2**). Une sonde d'oxygène (O₂) est recommandée pour s'approcher de cette température. En effet, dans le cas de l'utilisation du gaz naturel comme combustible, approcher une température de point de rosée à 59 °C suppose une maîtrise de la combustion. La gestion d'un excès d'air faible, quelque soit le taux de modulation du brûleur – notamment en tenant compte des variations de la pression atmosphérique, du PCI du combustible, etc. – est un exercice technique complexe. Le risque est de tomber en défaut d'air, avec des conséquences comme la production de suies... C'est la raison pour laquelle on applique toujours une règle de 10 à 30 % d'excès d'air sur les brûleurs, quitte à pénaliser légèrement le rendement. Le but d'une sonde d'oxygène sur un brûleur, c'est de tendre vers la combustion stœchiométrique en continu sur l'année.

3. Limiter la surpuissance des chaudières

Pour bénéficier largement du phénomène de la condensation, il faut privilégier le fonctionnement des chaudières en continu sur une saison de chauffe. Ceci signifie qu'il faut éviter la surpuissance des équipements – le cas sera explicité dans les exemples dans cet article. En cas de surpuissance, on attendra vite le seuil minimal de modulation du brûleur – généralement proche de 20 %. La chaudière fonctionnera alors en « tout ou rien » un grand nombre de jours de l'année. Ce qui est à l'origine de pics de pollution, et de pertes thermiques qui dégradent le rendement global de l'installation.

Figure 2. Combustion stœchiométrique au gaz naturel

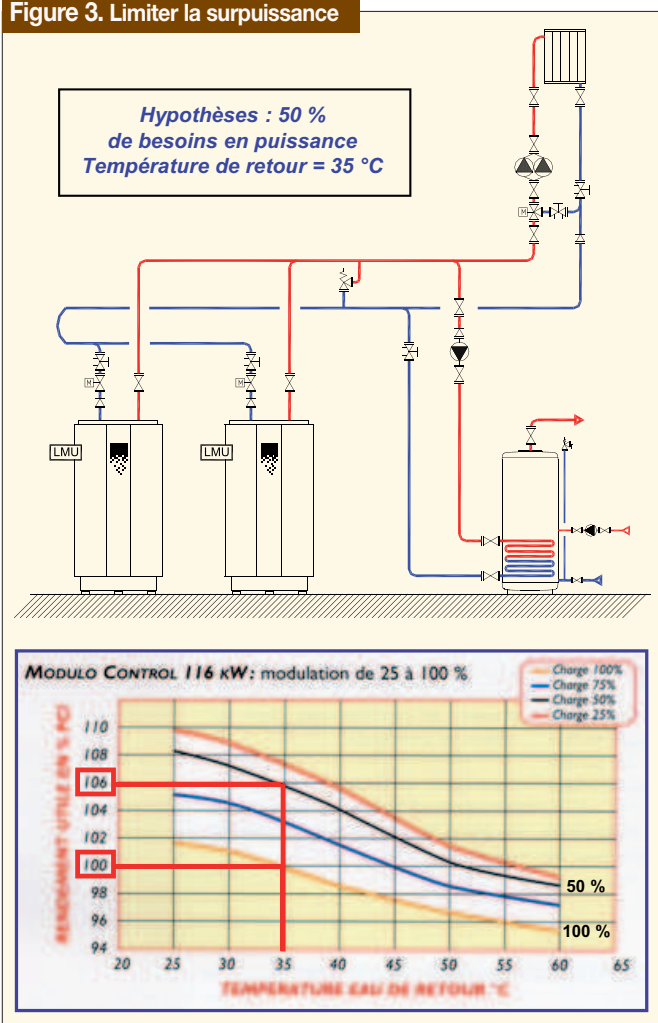


La maîtrise de l'excès d'air permet d'approcher la courbe idéale. L'augmentation de l'excès d'air réduit le potentiel de condensation.

4. Privilégier une régulation des générateurs en cascade parallèle

Il faut privilégier un taux de modulation du brûleur le plus faible possible. Le cas se pose en particulier avec une chaufferie constituée de deux chaudières ou plus : l'installateur choisira une cascade parallèle et évitera une cascade hiérarchique. Explications d'après la **figure 3** : avec deux chaudières en fonctionnement à 50 % de puissance, à la différence d'une seule chaudière à 100 % de puissance, deux fois plus de surfaces d'échange sont sollicitées. Ainsi, plus le taux de charge sera faible, plus le rendement sera important (globalement, 106 % contre 100 % avec une cascade hiérarchique avec une température de retour d'eau en chaudière de 35 °C).

Figure 3. Limiter la surpuissance



Le fonctionnement en cascade parallèle de deux chaudières à 50 % de puissance permet d'atteindre un rendement de 106 % sur PCI contre 100 % avec une chaudière à 100 % de puissance en cascade hiérarchique.

5. Privilégier une faible température moyenne de la chaudière

Maintenir une température moyenne de la chaudière – entre l'entrée et la sortie – la plus faible possible améliorera le rendement global de l'installation. Ce qui suppose d'avoir une température de départ la moins élevée possible, de choisir une température de départ glissante plutôt qu'une température de départ constante, de choisir un régime de température des émetteurs le plus bas possible et avoir un retour d'eau le plus froid possible.

Ce point a deux conséquences : primo, il faut éviter d'avoir une grande différence de consigne entre le départ chaudière

Rappel 2

Comment atteindre une combustion stœchiométrique ?

La combustion stœchiométrique, ou idéale, repose sur le mélange de 1 m³ de gaz (composé de 83 à 97 % de méthane – CH₄) avec environ 10 N m³ d'air (composé à 80 % d'azote et à 20 % d'oxygène). Il y a excès d'air dès que le mélange compte plus de 10 m³ d'air. La combustion produit des fumées composées de 1 m³ de dioxyde de carbone (CO₂), de 8 m³ d'azote (N₂) et 2 m³ d'eau (H₂O) sous forme de vapeur.

Dans une chaudière basse température, le corps de chauffe ne permet de récupérer que la chaleur sensible ; le rendement maximal idéal serait de 100 % sur PCI (ou 90 % sur PCS). Le but de la condensation est de liquéfier cette vapeur d'eau pour récupérer la chaleur latente de liquéfaction.

Pour cela, comme représenté sur la **figure 1**, le condenseur placé à l'arrière du foyer est, d'une part, traversé par les produits de combustion, et d'autre part, parcouru par le retour d'eau du circuit chauffage – le plus favorable à la condensation – d'une température inférieure à celle du point de rosée des fumées (59 °C au gaz naturel). La vapeur d'eau liquéfiée en condensat libère une chaleur latente d'au maximum 11 % sur PCI.

Ce point de rosée est un critère important dans la combustion, parce qu'il va dépendre de l'excès d'air. La figure 2 présente les courbes de rendement d'une combustion gaz naturel. Les droites, caractéristiques des chaudières non «condensantes», fournissent le rendement en fonction de la température des fumées.

Pour des chaudières à condensation, à partir de la courbe de point de rosée au centre du schéma, il faut lire, à gauche, les courbes de rendement soulignées. Courbe et droite (en bleu) indiquent les conditions idéales de combustion stœchiométrique : à 11,7 % de CO₂, c'est-à-dire en situation d'excès d'air nul, le rendement est optimal.

Ce schéma indique que plus l'excès d'air est important – c'est-à-dire quand le taux de CO₂ se dilue – le rendement chute. De même, si l'on suit les points d'excès d'air minimaux et maximaux, la courbe du point de rosée varie de 59 °C à 50 °C. L'idéal est un point de rosée proche de 59 °C avec un excès d'air optimal (un taux de CO₂ de 11,7 %). Une sonde d'oxygène placée dans les fumées permet d'approcher en permanence la combustion stœchiométrique (droite et courbe bleues).

et le départ vanne trois voies des circuits – il faut, si possible, partir à la même consigne – ; et secundo, il faut appliquer aux circuits des régimes de température les plus bas possibles. En outre, il convient de limiter les «lois d'eau de dégrossissage», les traditionnels «5 à 10 °C d'écart» pour assurer de fournir la bonne température aux réseaux. De même, il faut éviter les conceptions de chaufferies où les chaudières condensation deux piquages sont connectées sur une bouteille casse pression avec une pompe de charge : le débit supérieur du primaire, a tendance à réchauffer les retours (Cf. le paragraphe 6.7 - C).

6. Choisir une chaudière adaptée aux circuits de l'installation

Ce point mérite réflexion de la part des maîtres d'oeuvres et maîtres d'ouvrages. Il faut en particulier tenir compte des types de circuits à alimenter : régulés ou à haute température non régulés (à température constante). Il faut, pour chacun de ces usages, choisir la chaudière à condensation adaptée : deux, trois ou quatre piquages, avec une hydraulique adaptée.

Exemple de rénovation de chauffage à Lyon

Figure 4a. Distribution des DJU sur la saison de chauffe

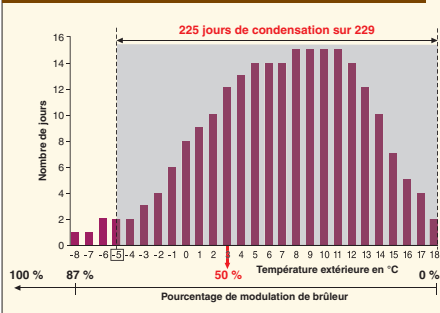


Figure 4b. Température de condensation et détermination de la température de retour à +3 °C extérieur

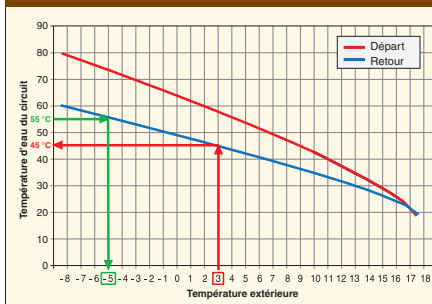
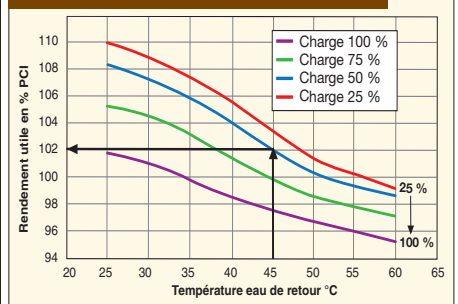


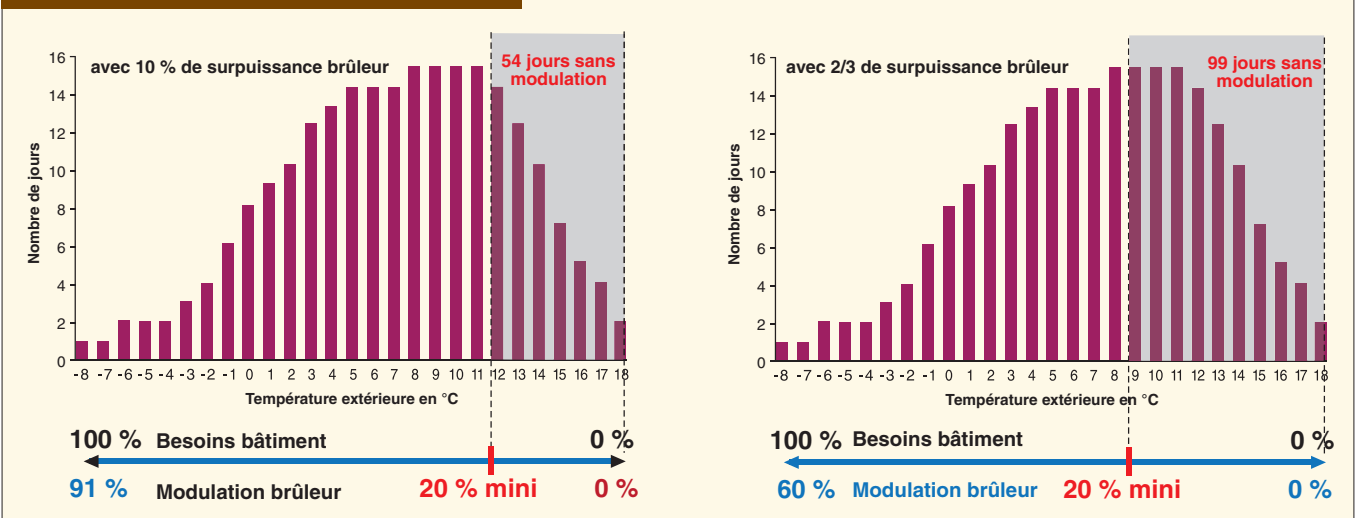
Figure 4c. Détermination du rendement à 50 % de charge et 45 °C de retour chaudière



Température extérieure de référence de - 8 °C – Sur ce réseau haute température, par + 5 °C extérieur, les retours à 45 °C permettent de bénéficier de la condensation.

Le fonctionnement à charge partielle contribue à l'amélioration du rendement.

Figures 4d et 4e. Modulation et surpuissance du brûleur



6.1. La condensation se justifie-t-elle sur des réseaux haute température ?

La réponse est : oui, la condensation se justifie sur des réseaux haute température, mais à condition qu'ils soient régulés. Pour nombre de maîtres d'ouvrages propriétaires de logements équipés en radiateurs sous une loi d'eau de 80-60 °C, la condensation ne se justifie pas.

Pour démontrer qu'elle a son intérêt, il est possible de présenter un cas de figure classique.

Dans cet exemple, il s'agit d'une rénovation de chaufferie à Lyon, où la température basse moyenne de référence est de - 8 °C, avec la pose d'une chaudière de 230 kW qui alimente un réseau de radiateur haute température (80/60 °C) ; la surpuissance est de 15 %.

La première question à se poser est : quel est l'intérêt d'une chaudière à condensation par rapport à une chaudière basse température à trois parcours de fumée ? À la lecture de la figure 4b, il est possible de condenser de - 5 °C à + 18 °C extérieur pour une température de rosée des fumées de 55 °C. Soit, sur la base des degrés jours unifiés (DJU), un fonctionnement en condensation de 225 jours sur les 229 jours de la saison de chauffe (figure 4a).

Quel est le rendement global annuel de cette installation ? Pour le déterminer, il faut calculer le rendement utile chaudière pour chaque température extérieure. Exemple : lorsqu'il fait 5 °C à l'extérieur, la chaudière est sollicitée à 50 % de sa charge (figure 4a). En reportant cette information sur l'abaque de la loi

d'eau (figure 4b), on constate un retour à 45°C. Ce qui, sur la courbe de rendement (figure 4c), permet de lire un rendement de 102 % (à 50 % de charge). En tenant compte du nombre d'heure de marche de la chaudière et de son rendement utile pour chaque température extérieure, on obtient son rendement global annuel.

Etape suivante de l'analyse, le tableau 2 nous indique qu'il y a plus de 10 points d'écart de rendement global annuel, sur un réseau d'un régime 80/60 °C, entre une chaudière à condensation et une chaudière basse température à trois parcours.

Cette simulation repose sur un calcul sur la base de DJU jusqu'à une température extérieure de 18 °C. Il faut noter ici que l'investissement et la mise en place du réseau hydraulique n'est guère plus coûteux pour une chaudière à condensation que

Tableau 2. Comparaison des performances

Régime de température	90/70 °C	80/60 °C	70/50 °C	45/38 °C
Condensation	102,7 %	104 %	105,6 %	107,6 %
Trois parcours	92,9 %	93,3 %	93,6 %	93,6 %
Différence	9,8 %	10,7 %	12 %	14 %

Il est possible de tirer profit de la condensation sur un circuit à loi d'eau haute température. Pour cela, il suffit qu'il soit régulé.

pour une chaudière basse température. Les montants de travaux se valent, et les 10 % de rendement gagnés réduisent le retour sur investissement à un délai rarement supérieur à six mois ; cela peut même être un gain sans délai.

Il faut aussi noter que le résultat de rendement global annuel obtenu avec un régime d'eau 90/70 °C, proche du maximum, nous montre que l'utilisation d'une chaudière condensation se justifie dans tous les cas lorsque les circuits sont régulés.

Le tableau 2 permet aussi aux investisseurs de se poser une question : l'investissement dans un réseau hydraulique pour radiateur basse température – sous loi d'eau 70/50 °C - est-il raisonnable lorsqu'on lit qu'une émission par radiateur sous un régime 80/60 °C ne « coûte » que 1,6 % de rendement ? Si le maître d'ouvrage opte pour des radiateurs autres que des panneaux acier, le délai d'amortissement serait allongé.

Par ailleurs, les figures 4d et 4e soulignent l'importance de la modulation et le défaut d'intérêt de la surpuissance. L'association du brûleur et de la chaudière permet de tirer le meilleur parti de l'équipement. L'exemple de l'installation lyonnaise montre qu'une surpuissance au brûleur de seulement 10 % se traduirait par 54 jours d'exploitation sans modulation – soit 23 % de la saison de chauffe. Ce délai de fonctionnement sans modulation – le générateur est capable de moduler jusqu'à 20 % de sa puissance – implique des cycles de marche/arrêt du brûleur qui occasionnent des pertes thermiques lors de sa relance ; ces pertes sont essentiellement occasionnées par la préventilation du brûleur qui évacue des calories par la cheminée.

Si cette surpuissance au brûleur est portée au deux tiers de la puissance du générateur, le délai de fonctionnement sans modulation de la chaudière double : il atteint presque cent jours par an, soit pratiquement la moitié de la durée de la saison de chauffe. Ainsi, il faut retenir que l'intérêt d'un brûleur modulant diminue face à la surpuissance importante d'un générateur ; par ailleurs, un nombre de cycle marche/arrêt conséquent diminue sa durée de vie.

6.2. Quelle chaudière à condensation choisir ?

Pour répondre à cette question, Il faut commencer par présenter les générateurs à deux, trois ou quatre piquages. Les fournisseurs du marché proposent tous des matériels qui répondent à ces principes.

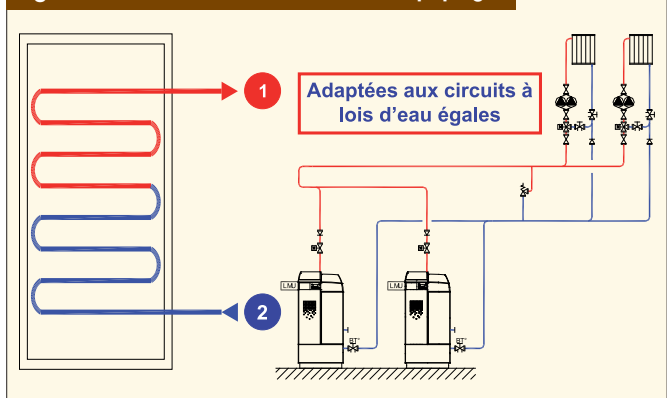
- Une chaudière à deux piquages dispose d'un foyer condenseur avec un départ et un retour. Avec ce matériel, il faut une température moyenne la plus basse possible pour obtenir les meilleurs rendements (figure 5a).

- Une chaudière trois piquages possède un départ et deux retours distincts : l'un à haute température, l'autre à basse température. Ce pour traiter des circuits répondant à différentes lois d'eau (figure 5b).

Pour que le concept soit efficace, et performant, les retours doivent être distincts. Pour cela, il faut respecter les règles suivantes :

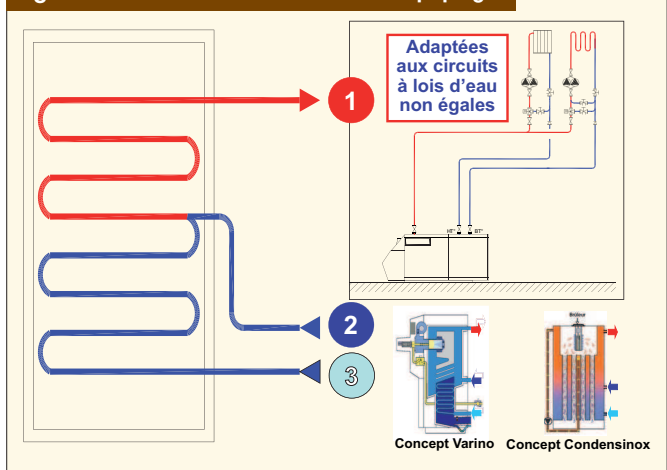
- lorsque le condenseur (échangeur tubulaire) est lié en série avec le foyer, celui-ci doit avoir une surface d'échange optimisée.
- Lorsque deux retours reviennent dans un volume d'eau, ils doivent être distants l'un de l'autre pour que la stratification soit optimale dans le corps de chauffe (fort volume d'eau et faible perte de charge semblable à une bouteille de découplage hydraulique).
- Une chaudière quatre piquages répond à une conception différente (figure 5c) : un foyer, qui peut être en acier, et un condenseur séparé hydrauliquement du foyer. Le but, même à très haute température sur le primaire, est d'aller chercher le circuit le plus froid de l'installation pour condenser en continu sur la chaudière. Ce choix technique repose sur le respect de règles hydrauliques :

Figure 5a. Chaudières à condensation 2 piquages



Foyer condenseur conçu dans un matériau permettant de résister à l'acidité des condensats et disposant d'un départ et d'un retour.

Figure 5b. Chaudières à condensation 3 piquages



Foyer et condenseur liés en série et conçus avec un matériau permettant de résister à l'acidité des condensats. Le raccordement au piquage supplémentaire permet de séparer les retours haute et basse température afin d'optimiser la condensation.

Deux concepts possibles : le 3 piquages Varino consiste à placer un condenseur en série avec le corps de chauffe ; celui de la Condensinox consiste à faire revenir les retours dans un même volume d'eau. Ce dernier pour être efficace nécessite d'une bonne stratification dans le corps de chauffe.

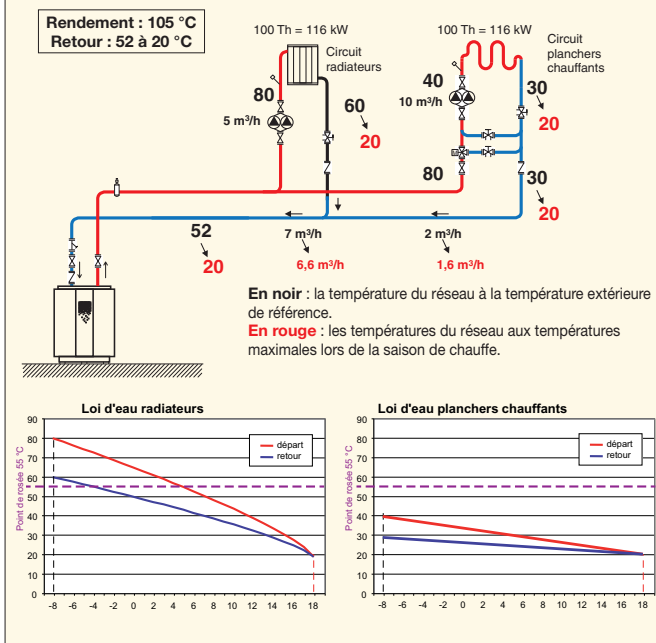
Figure 5c. Chaudière condensation 4 piquages



Le condenseur séparé hydrauliquement du foyer peut être soit intégré sous l'habillage pour gagner en compacité, soit indépendant du générateur et parfois plus facile à intégrer pour les chaufferies de grosses puissances.

- un débit minimal dans le condenseur pour éviter toute ébullition et donc sa dégradation,
- une irrigation du condenseur en dehors de la saison de chauffe lorsque la chaudière s'enclenche l'été pour satisfaire la production d'ECS par exemple. Une solution consiste à placer une vanne trois voies été/hiver qui ira chercher l'eau du primaire pour l'irriguer.

Figure 6. Chaudières à condensation 2 piquages en présence de lois d'eau régulées non égales



Dans ce cas courant d'une chaudière alimentant des réseaux haute et basse températures régulés, le débit et les températures d'eau de retour permettent de fournir un rendement élevé.

Pour simplifier le discours, cet article décrira essentiellement des installations de chauffage. Le cas de la production d'eau chaude sera prise en compte au paragraphe 6.7- A.

6.3. L'exploitation d'une chaudière à deux piquages

Le premier exemple repose sur l'usage d'une chaudière à deux piquages qui alimente deux réseaux régulés dont les lois d'eau sont différentes.

L'installation (figure 6) se compose d'une chaudière à laquelle sont reliés un réseau de radiateurs (80/60 °C) et un réseau de planchers chauffants (40/30 °C). Leur puissance est équivalente (100 Th, ou 116 kW).

- Le débit des radiateurs est calculé selon la formule $100 \text{ Th} / \Delta t 20 \text{ °C} = 5 \text{ m}^3/\text{h}$.
- Le débit applicable aux planchers chauffants sera de $100 \text{ Th} / \Delta t 10 \text{ °C} = 10 \text{ m}^3/\text{h}$.
- À la température extérieure de référence, la plus froide (- 8 °C), le départ sur le réseau radiateurs s'effectue à 80 °C ; le retour est à 60 °C (figure 5a).

Que se passe-t-il sur le réseau planchers chauffants ? La vanne trois voies en entrée de réseau doit permettre de délivrer une eau à 40 °C. Pour cela, une partie des retours à 30 °C seront mélangés à cette eau à 80 °C en entrée pour obtenir un fluide à 40 °C. A ce point du réseau, 80 % du retour des planchers chauffants servira au mélange. Ainsi, le débit applicable au plancher chauffant n'est pas de 10 m³/h : pour une puissance de 100 Th, avec une loi d'eau effective de 80/30 °C, le Δt est de 50 ; le débit n'est alors plus que de 2 m³/h !

Face à deux lois d'eau différentes, on s'aperçoit que le risque de perturbation de la condensation est important : 80 % des retours froids d'un réseau seront bypassés dans l'installation. 2 m³/h à 30 °C se mélangeront à 5 m³/h à 60 °C ; la température de mélange obtenu au retour à la chaudière sera de 7 m³/h à 52 °C. Au cours de la saison de chauffe, les températures tendront vers 20 °C sur les deux circuits (Cf. lois d'eau à + 18 °C ext. figure 5a). Le débit de retour du réseau «planchers chauffants» variera peu : de 2 à 1,6 m³/h.

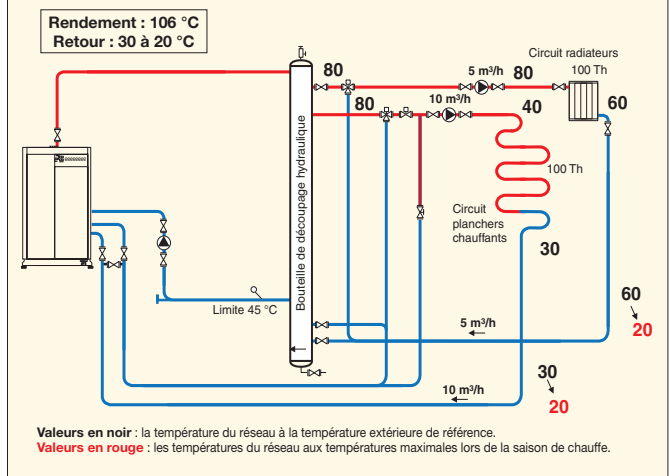
En prenant les données quotidiennes de ce type d'installation, on obtient un rendement global annuel de 105 % ; l'ajout du plancher chauffant permettrait de gagner 1 % de rendement par rapport à un réseau radiateur seul.

Ce que l'on peut retenir, c'est que les circuits dont les lois d'eau sont les plus fortes limitent les retours des circuits à loi d'eau plus avantageuse à la condensation.

6.4. L'alternative d'une chaudière à quatre piquages

L'installation à quatre piquages destinée à servir les deux mêmes réseaux de chauffage que ceux présentés dans le paragraphe précédent repose, dans cet exemple, sur l'instal-

Figure 7. Chaudière à condensation 4 piquages en présence de lois d'eau régulées non égales



Le condenseur est irrigué en permanence avec le débit nominal du circuit le plus favorable à la condensation.

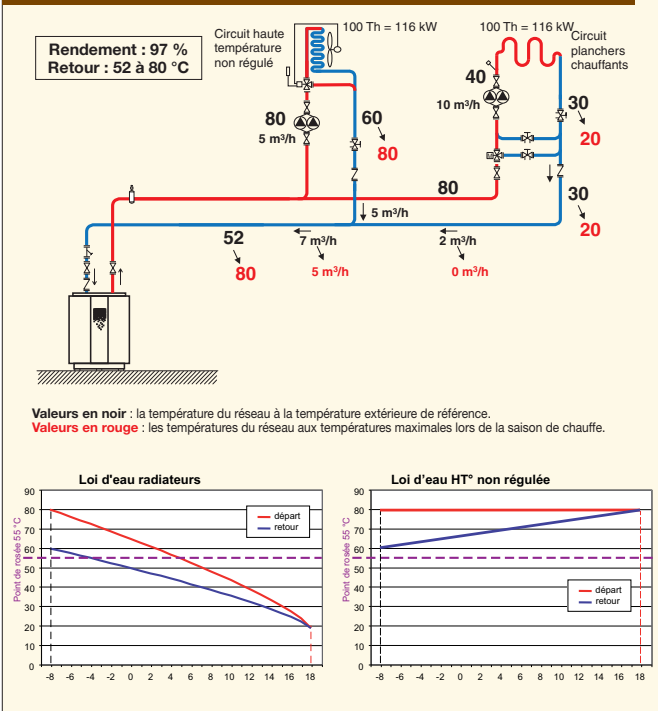
lation intermédiaire d'une bouteille de découplage et d'une pompe de charge (figure 7). Le départ «radiateurs» et «planchers chauffants» présentent la même répartition des puissances et le même débit de pompes. Différence avec l'installation précédente à deux piquages : à la sortie des planchers chauffants, les retours sont directement renvoyés vers l'échangeur à condensation de la chaudière ; celui-ci est séparé hydrauliquement du foyer. Ainsi, le condenseur bénéficiera durant toute la saison de chauffe du débit nominal – 10 m³/h – et de la température la plus froide de l'installation – de 30 à 20 °C. De fait, le rendement global annuel sera légèrement supérieur et atteindra 106 %. Dans ce cas de figure, l'intérêt de cette formule technique n'est pas très flagrant, il sera nettement plus évident dans le cas traité au paragraphe suivant.

6.5. Le contre-exemple : deux circuits dont un à température constante

L'aparté du paragraphe précédent permet d'introduire une difficulté : celle de la gestion de deux circuits dont l'un est à haute température et non régulé (à température constante). Ce peut être une sous-station chargée d'alimenter, en chauffage et eau chaude sanitaire, un bâtiment résidentiel collectif distant, ou d'un établissement scolaire dans lequel les salles sont équipées d'un plancher chauffant et la cuisine d'une centrale de traitement d'air, ou encore d'un gymnase qui doté d'un aérotherme (figure 8)... Cet exemple permet de montrer que le choix entre un générateur à deux ou quatre piquages relève d'une réflexion approfondie.

Les prescriptions techniques de base sont les mêmes que

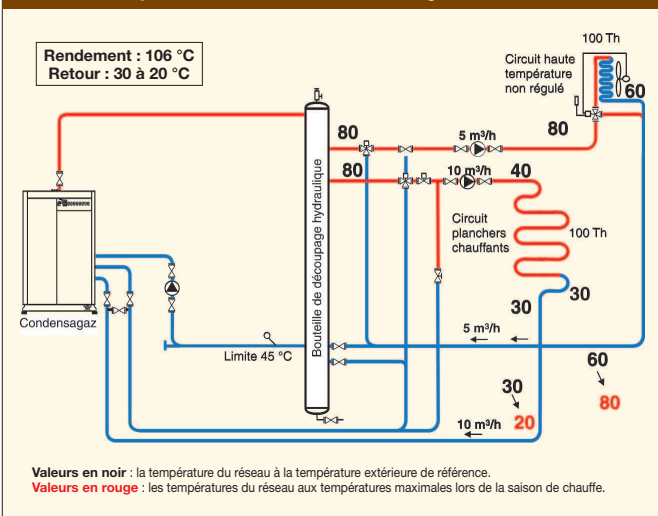
Figure 8. Chaudière à condensation 2 piquages en présence d'une loi d'eau haute température non régulée



La présence d'un circuit haute température non régulée avec une chaudière 2 piquages n'est pas du tout favorable à la condensation.

celles au paragraphe 6.3 : chaudière à deux piquages, puissance de 100 Th par réseau, débit de 5 m³/h sur le réseau d'aérothermes et de 10 m³/h sur les planchers chauffants. Sur le réseau haute température non régulé, le réseau fournira une température de 80 °C toute l'année ; la régulation dans la batterie s'effectuera par débit variable, et non par température variable. Et dans ce cas, moins on a de déperdition, plus la température de retour à la chaudière rejoint la température de départ (Cf. loi d'eau haute température non régulée figure 8a). À la température extérieure minimale de référence, les retours vers la chaudière affichent une température de 52 °C. En

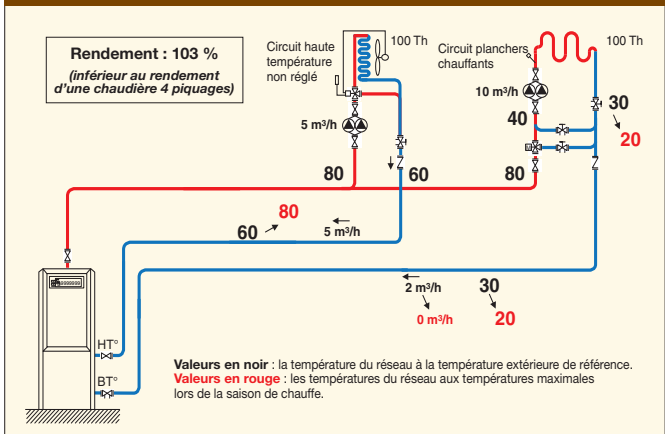
Figure 9. Chaudière à condensation 4 piquages en présence de loi d'eau non régulée



La mise en place d'un circuit haute température non régulé sur ce type d'hydraulique ne perturbe pas les retours d'eau et ne dégrade pas le rendement.

revanche, en mi-saison, sur le plancher chauffant, selon le même montage que celui présenté au paragraphe 6.3, pour produire une eau adaptée aux déperditions, jusqu'à 100 % de l'eau de retour du plancher chauffant sera by-passée ! De 2 m³/h, le débit de retour d'eau du plancher chauffant vers la chaudière pourra chuter à 0 m³/h. Au cours de la saison de chauffe, la température de retour à la chaudière variera de 52 °C à 80 °C. D'autre part, la perte de performance est de 8 % ; elle passe de 105 à 97 %. Ainsi, l'impact de ce seul circuit haute température non régulé annule tout intérêt pour la condensation. Ce type de montage peut pourtant être relativement courant. La solution à quatre piquages peut-elle résoudre ce type de difficulté ? Sur la figure 9, le réseau de radiateurs a été remplacé par un réseau haute température non régulé. Cette modification ne perturbe en rien le fonctionnement de l'installation : les 30 à 20 °C issus du plancher chauffant sont dirigés vers l'échangeur

Figure 10. Chaudière à condensation 3 piquages en présence d'une loi d'eau haute température non régulée



La présence d'un circuit haute température non régulé perturbe les débits de retour. Le rendement est dégradé.

à condensation de la chaudière à raison de 10 m³/h; le réseau haute température non régulé revient à la bouteille casse pression connectée au retour de la partie primaire de la chaudière. La solution à quatre piquages présente dans ce cas une performance optimale de 106 % au lieu de 97 %.

6.6. Quels usages pour la chaudière à trois piquages ?

Dans le cas de réseaux régulés à lois d'eau différentes – radiateurs et planchers chauffants – la chaudière à trois piquages est parfaitement adaptée avec une performance optimisée. Mais, quelles sont les limites de ce type de conception ? En particulier, il faut aborder le cas où les retours sont séparés mais que les retours basses températures à 20 °C sont nuls (figure 10) et que les retours hautes températures sont de 80 °C ! Cette situation ne permettra pas de condenser.

Cependant, durant la saison de chauffe, le débit de retour froid variera de 2 à 0 m³/h, mais sera toujours existant. De ce fait, le rendement sera moins affecté : il sera de 103 %. La limite des chaudières à trois piquages dépend de leur conception : peuvent-elles accepter un différentiel de température aussi important ; et, au niveau des retours les plus froids, l'équipement supportera-t-il un débit nul sans dégradation ? Les chaudières Varino acceptent ses contraintes, mais pour trouver les réponses à ces questions, les prescripteurs doivent impérativement vérifier la conception des générateurs (Cf. Rappel 3).

Ce que l'on peut retenir, c'est qu'en présence de circuits haute température non régulés, c'est la chaudière à condensation quatre piquages qui permet d'atteindre une performance optimale.

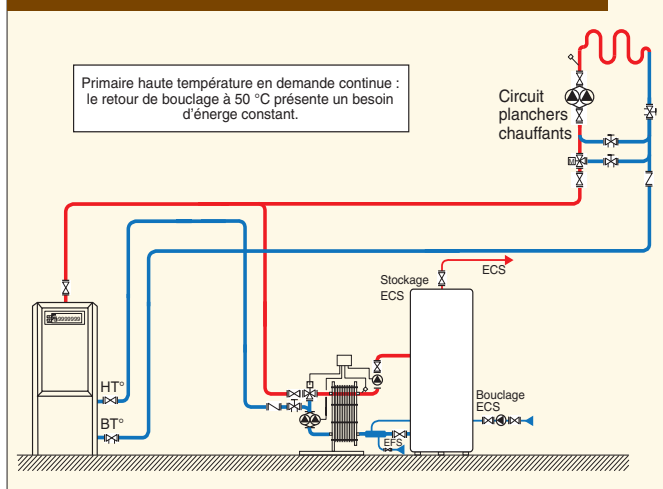
6.7. Adapter la condensation aux situations courantes sur site

Les solutions techniques de montages hydrauliques sont nombreuses chez les différents fournisseurs de générateurs. Voici trois cas de figures rencontrés sur sites qui méritent un rapide examen et quelques commentaires.

A - Condensation et production d'eau chaude sanitaire : adapter l'installation

Nous voyons aujourd'hui se développer des schémas d'installation dans lesquels la production d'ECS est autonome et assurée par un accumulateur gaz à condensation afin de ne pas pénaliser la performance de l'installation. Dans ce cas de figure,

Figure 11. Chaudière trois piquages avec production d'ECS en demande continue



L'utilisation d'un équipement traditionnel de production d'ECS par échangeur à plaques revient au cas de figure précédent des circuits à haute température non régulés. Les rendements sont dégradés.

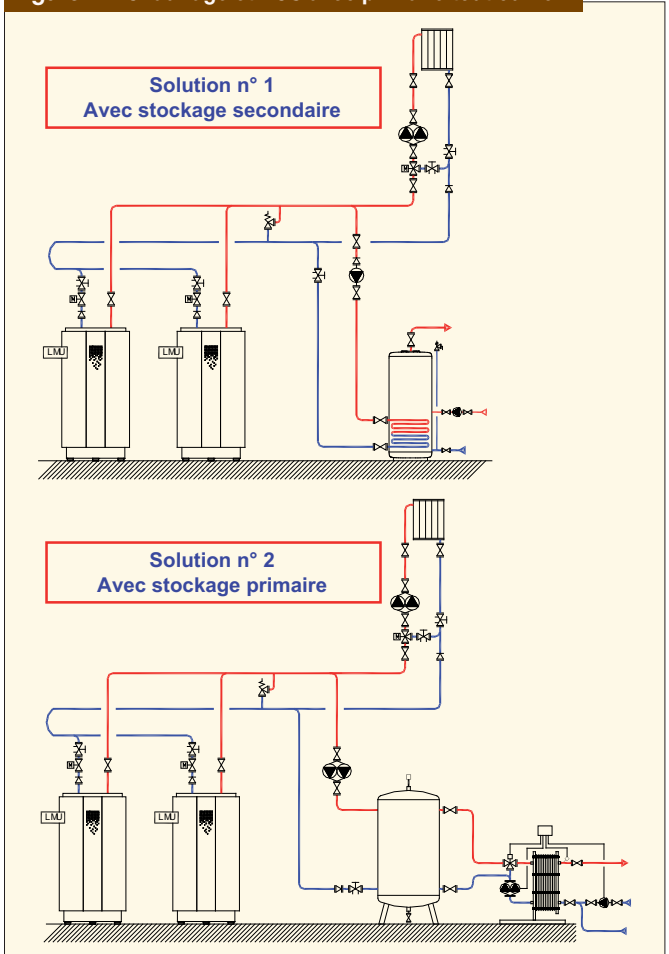
le secours ne peut être assuré qu'en doublant les générateurs. Il est possible d'utiliser des chaudières à condensation en cascade pour produire de l'eau destinée à alimenter un réseau de chauffage et de l'eau chaude sanitaire avec un rendement optimal tout en assurant en permanence un minimum de secours sur la production de chauffage et d'ECS. Il convient cependant de veiller au choix du générateur et au type de production d'eau chaude sanitaire.

La **figure 11** présente une chaudière à condensation à trois piquages dédiée à un plancher chauffant et la production d'ECS. Celle-ci est assurée par un échangeur à plaques semi-instantané d'un type courant.

Réglementairement, ce type d'installation impose un bouclage sanitaire : l'eau revient à 50 °C minimum. Cependant, l'eau chaude sanitaire ne devant pas être totalement adoucie, pour éviter d'entartrer l'échangeur à plaques, il est déconseillé d'arrêter la pompe située entre celui-ci et le ballon. En réalité, cette conception provoque le brassage de l'eau du ballon : l'eau à 50 °C de retour de bouclage et située en partie basse par stratification est transférée au milieu ou en haut du ballon. Si la consigne de température d'eau chaude du ballon est à 60 °C, le retour de bouclage à 50 °C provoque un besoin d'énergie constant pour maintenir le bouclage d'ECS collective.

La vanne trois voies primaire, en entrée d'échangeur à plaques, demeure ainsi, faiblement, mais constamment ouverte. Pour maintenir ces 60 °C, l'échangeur doit constamment être alimenté à 80 °C, voire 70 °C selon son dimensionnement. Par analogie avec ce qui a été décrit plus haut, ce réseau peut être assimilé à un réseau haute température non régulé. C'est le cas de

Figure 12. Chauffage et ECS avec primaire tout ou rien



Le placement d'un ballon haute température destiné à alimenter l'échangeur à plaques permet à l'exploitant de bénéficier des avantages de la condensation.

figure du très grand nombre d'installations de production d'eau chaude par échangeur à plaques.

Quelle solution de production d'eau chaude sanitaire choisir avec une chaudière à condensation ? Il vaut mieux privilégier un primaire «tout ou rien» ou une action sur la pompe (**figure 12**). Cette conception repose sur l'usage de ballon avec échangeur intégré : lorsque la consigne de température est atteinte, la pompe primaire est coupée. Ce qui permet de glisser en température et condenser sur les chaudières hors période de relance. La capacité du système de production d'ECS à combattre les déperditions sans réenclencher tient au volume de stockage, au différentiel de la sonde ECS, aux déperditions du bouclage ECS...

En dehors des périodes de soutirage, entre chaque relance (un délai qui pourra atteindre quelques heures), le système pourra condenser. Et lors de l'enclenchement, la remontée de température du ballon de quelques degrés demandera aux chaudières de fournir une eau à 80 °C durant quelques minutes seulement. Ce type de stockage secondaire avec action tout ou rien sur la pompe primaire est donc à privilégier. Ce principe de stockage d'énergie, non plus au secondaire mais sur le primaire (figure 12), est notamment un moyen de valoriser les chaudières à condensation sur des sites sensibles comme les locaux de santé, où l'utilisation d'une production ECS instantanée est souvent recommandée.

B - Exploiter la condensation sur une alimentation de CTA avec loi d'eau à température constante

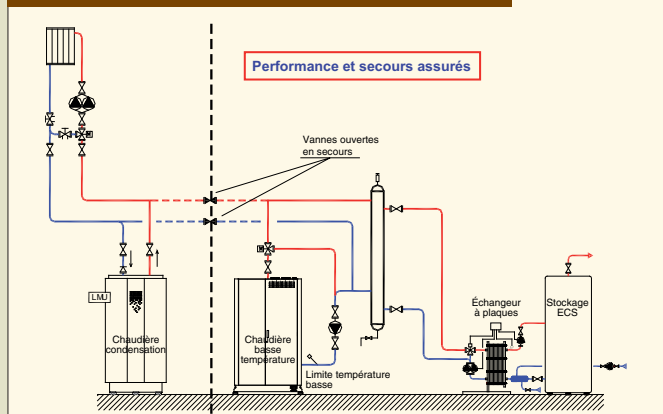
Dans les locaux tertiaires existants, les batteries chaudes des centrales de traitement d'air ont longtemps été dimensionnées

Cas pratique n° 1

Chauffage et production d'ECS : la solution de la cascade de chaudières deux piquages

La **figure 13** présente la chaufferie d'une maison de retraite de 70 lits destinée à assurer les besoins de 600 kW bruts de chauffage, et de 300 kW bruts d'ECS.

Figure 13. Condensation et basse température : 4 piquages avec 2 x 2 piquages



Ce cas particulier de montage peut se rencontrer en rénovation. Il permet de maintenir un équipement ancien basse température tout en bénéficiant de la condensation et en apportant une solution de secours (schéma dédié issu de la schémathèque haute performance Atlantic Guillot).

Pour optimiser la performance, la solution hydraulique retenue consiste à placer deux chaudières à condensation à deux piquages dédiées aux circuits régulés radiateurs favorables à la condensation. Elle permet d'approcher les 104 % de rendement global annuel.

La production d'eau chaude sanitaire alimentée par une chaudière spécifique à haut rendement est autonome. Ainsi, sur la période estivale le circuit primaire étant moins conséquent, les pertes (non négligeables) se trouvent réduites.

La production d'ECS est quasi instantanée. En effet pour améliorer le confort ECS, l'échangeur à plaques a été associé à un volume de stockage inférieur à 400 l. Ce de manière à répondre aux exigences de l'arrêt du 30 novembre 2005 concernant la limitation des risques au développement de la légionellose.

Afin de satisfaire les attentes du maître d'ouvrage, un secours est assuré entre ses deux installations indépendantes au moyen de deux vannes d'isolement.

Cette solution hydraulique, appelée "schéma dédié" dans la schémathèque Atlantic Guillot, est un moyen de répondre aux besoins de circuits régulés et de circuits à température constante avec des chaudières à condensation deux piquages. Avec ce type de montage, et dans le cadre d'une rénovation, l'idée est aussi de pouvoir maintenir une chaudière basse température existante en place – et en secours – tout en bénéficiant de la condensation sur le chauffage.

Cas pratique n° 2

Cascade mixte chaudière condensation et chaudière haut rendement

Cet exemple reprend la rénovation d'une chaufferie de quarante logements située en sous-sol. Elle était équipée auparavant de chaudières traditionnelles et présentait des difficultés d'accès. Pour améliorer la performance avec une enveloppe financière restreinte, la solution a consisté à :

- modifier le moins possible l'hydraulique en laissant en place la bouteille casse pression et les pompes de charge de chaque chaudière ;

- minimiser la surpuissance en chaufferie : les besoins ont été réévalués à 240 kW bruts pour le chauffage soit 200 kW nets avec une majoration de 20 %, et 105 kW pour l'ECS ;

- investir dans une seule chaudière à condensation, un choix justifié car un tiers de la puissance de la chaufferie destinée aux besoins ECS. Pour satisfaire la totalité des besoins, le choix s'est dirigé sur une chaudière modulante à condensation de 174 kW et une chaudière modulante haut rendement de 116 kW ; cette dernière assure à elle seule les besoins d'ECS (**figure 14**). En cas de panne du générateur le plus puissant, un secours minimal est assuré (50 % de la puissance chauffage ou 100 % de la puissance ECS).

Ces chaudières de type démontables n'ont pas posé de problème d'accès en chaufferie. Compactes, elles ont libéré de l'espace. La production d'ECS a été réalisée à l'aide d'un préparateur de 750 l avec échangeur serpentin intégré. La chaudière à condensation quatre piquages fonctionne en priorité sur la cascade.

Sa surface d'échange supplémentaire due à l'ajout d'un condenseur en inox, irrigué avec le débit nominal du circuit radiateurs, et les retours de température les plus bas, permet d'exploiter en permanence une performance optimum.

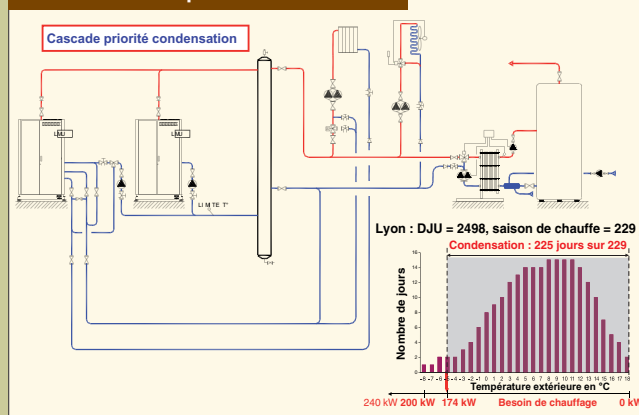
Sa puissance de 174 kW permet de satisfaire, pour la partie chauffage, la quasi-totalité des jours de la saison de chauffe (225/229 jours Cf. histogramme des DJU **figure 14**) sans faire appel à la chaudière haut rendement.

Sur la période estivale, le condenseur de la chaudière condensation n'est plus alimenté par la pompe radiateur ; celle-ci est arrêtée.

Deux solutions sont envisageables :

- basculer la vanne trois voies été/hiver afin d'irriguer le condenseur par le primaire des chaudières, ce en cas de panne de la chaudière haut rendement ;
- arrêter la chaudière condensation pour basculer sur la chaudière haut rendement.

Figure 14. Solution chauffage et ECS avec primaire tout ou rien



La chaudière à condensation quatre piquages fonctionne en priorité sur la cascade. Sa puissance permet de satisfaire, pour la partie chauffage, la quasi-totalité des jours de la saison de chauffe.

Sur la période estivale, deux solutions envisageables :

- basculer la vanne trois voies été/hiver pour irriguer le condenseur en cas de panne de la chaudière haut rendement ;
- arrêter la chaudière condensation pour basculer sur la chaudière haut rendement.

Gas pratique n° 3

Diminuer l'investissement sans diminuer le rendement global annuel de l'installation

La **figure 15** présente le schéma de trois chaudières d'une puissance de 400 kW chacune : deux à condensation et une à basse température (haut rendement) montées en série. Cette chaufferie destinée à chauffer un lycée doit assurer deux tiers de la puissance

en cas de panne d'un des générateurs. Les besoins en chauffage estimés à 1 200 kW bruts, soit 1 000 kW nets (majorés de 20 %) seront doc assurés par trois chaudières. Ce choix technique évite la surpuissance qui serait créée par l'installation de seulement deux chaudières (installation de 2 x 2/3 de la puissance). À noter que sur ce type de montage particulier, il faut attacher une attention toute particulière à la technologie des chaudières à condensation à mettre en place, et à la répartition des puissances des différents générateurs. En effet, tout le débit de l'installation est susceptible de les traverser...

Figure 15. Association chaudières condensation et basse température = investissement réduit

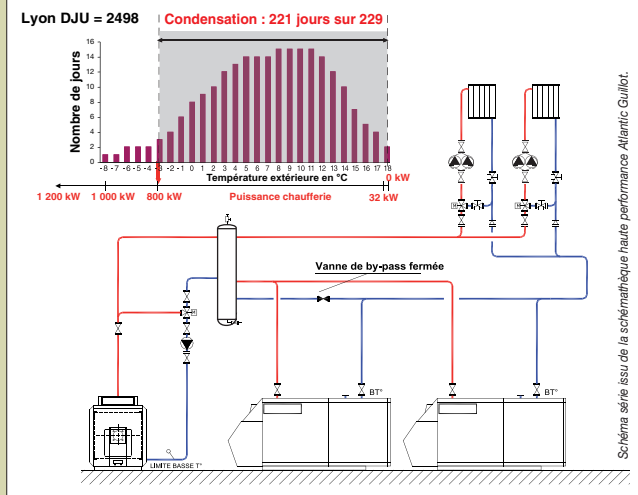


Schéma série issu de la schématisation haute performance Allantic Guilhot.

Cette chaufferie de grosse puissance rassemble des générateurs à condensation avec une chaudière basse température à trois parcours de fumée. Ce montage évite la surpuissance liée au choix de la seule condensation, permet de bénéficier de la modulation et réduit l'investissement global. Selon l'histogramme de la saison de chauffe, la durée de fonctionnement de la chaudière non modulante est réduite au maximum et ne perturbe pas le rendement global annuel de l'installation.

Les chaudières à condensation fonctionnent en priorité, ce qui permet d'exploiter au mieux leurs performances et utiliser toute la plage de modulation de leur brûleur (de 8 à 100 %). Ensemble, elles couvrent une plage de puissance de 32 à 800 kW - soit 80 % des besoins nets. Elles satisfont aux besoins jusqu'à -3 °C de température extérieure. Ainsi, théoriquement, la chaudière à haut rendement est sollicitée seulement 8 jours sur les 229 que compte la saison de chauffe.

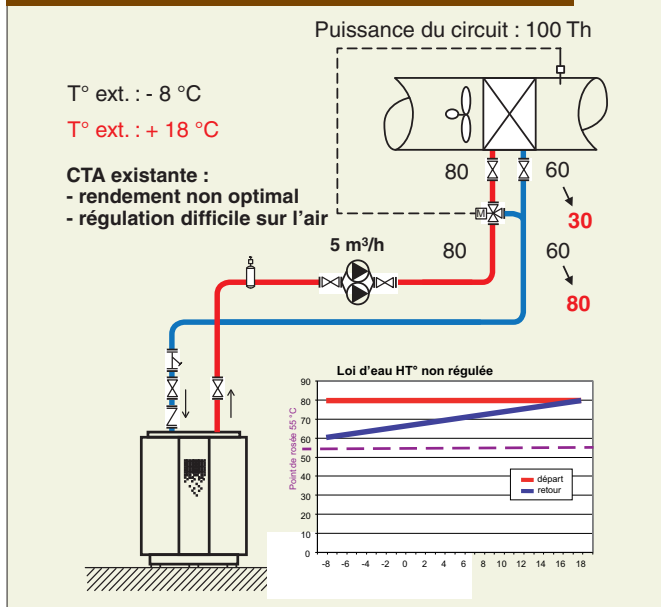
Ce type de montage; appelé "schéma série" dans notre schématisation haute performance, convient parfaitement aux chaufferies de moyenne et grosse puissance. Son intérêt est multiple. Il permet :

- de réduire l'investissement, en complétant le manque de puissance des chaudières à condensation et en assurant la surpuissance chaufferie, par une chaudière haut rendement moins coûteuse ;
- de ne pas dégrader le rendement global annuel puisque le temps de fonctionnement de la chaudière à haut rendement est très limité ;
- d'exploiter au maximum la performance des chaudières à condensation qui, dans ce cas de figure, sont sous dimensionnées par rapport aux besoins totaux.

avec une loi d'eau 80/60 °C avec vanne trois voies de régulation terminale (vanne de décharge). C'est un des principes utilisés dans le paragraphe 6.3 pour le réseau d'aérothermes à haute

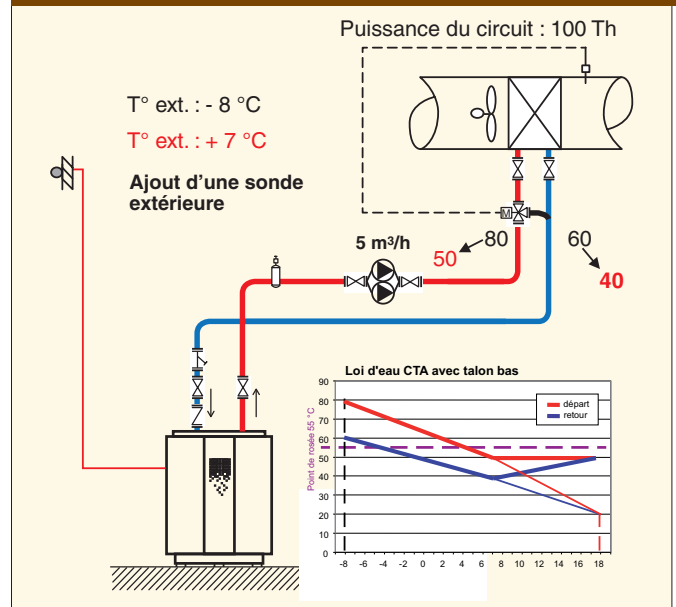
température et non régulé. Loi d'eau à température constante oblige, la variation de puissance dans cette batterie est basée sur la variation du débit. Que ce passe-t-il au cours de la

Figure 16a. CTA existante haute température régulée par vanne trois voies terminale



Cette installation avec CTA existante régulée par vanne trois voies terminale, avec température départ constante, n'est pas favorable à la condensation.

Figure 16b. Modification de la régulation primaire pour condenser sur une CTA existante



Cette installation avec CTA existante régulée par vanne trois voies terminale, est complétée d'une sonde extérieure permettant de créer une loi d'eau avec talon bas et favorisant la condensation.

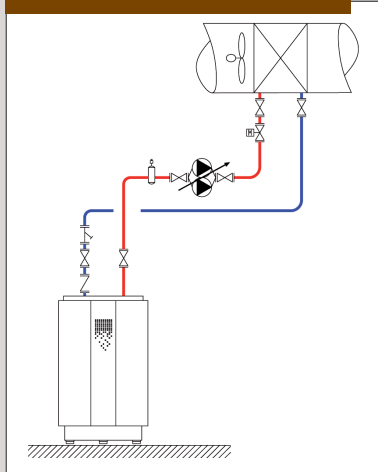
Rappel 3

Comment assurer la durée de vie maximale d'une chaudière à condensation ?

Les paramètres importants pour une chaudière sont : puissance, débit, et température. Ces trois données de base sont à manier avec précaution : selon leur variation, elles peuvent avoir un impact direct sur la durée de vie du générateur. En reprenant l'exemple du cas pratique n° 1 d'une CTA sur loi d'eau à haute température non régulée (**figure 16a**), dans un souci réglementaire et d'économies d'énergie, on serait vite tenté de remplacer la vanne trois voies de décharge terminale de la CTA par une vanne deux voies modulante, et la pompe à débit constant par une pompe débit variable (**figure 17**), ceci afin d'avoir les températures de retour à la chaudière les plus bas et une diminution de la consommation électrique de la pompe.

Attention, dans ce cas de figure, la chaudière qui doit maintenir un départ à haute température a, certes, une puissance qui diminue au cours de la saison de chauffe, mais un dif-

Figure 17. CTA avec régulation par vanne deux voies modulante terminale



férentiel de température de plus en plus important avec un débit qui s'approche de 0.

On ne peut occulter les lois physiques, Selon sa conception, ces conditions peuvent provoquer de nombreux cycles marche/arrêt, des dilatations différentielles et des risques d'ébullition sur le corps de chauffe de la chaudière : ils peuvent mettre directement en cause sa longévité.

Pour mettre en avant les avantages de ces nouvelles technologies, sans mettre en cause ou diminuer la durée de vie du générateur, il faut éviter dans tous les cas de maintenir un départ haute température sur les chaudières à condensation.

Ce circuit d'alimentation de CTA avec vannes deux voies modulantes de régulation terminale permet de réguler par une variation du débit la puissance de la batterie. La pompe primaire à vitesse variable minimise la consommation électrique et les pertes de distribution.

saison de chauffe ? Les retours reviennent de plus en plus chaud et jusqu'à 80 °C : quand la batterie n'a plus besoin de sa puissance nominale, une partie du débit départ chaudière à 80°C est bypassé par la vanne de décharge et réchauffe alors les retours (**figure 16a**). Ce montage n'est pas adapté à une chaudière à condensation et ne facilite pas la gestion de l'apport thermique sur l'air. En effet, avec un tel différentiel de température sur la batterie, il est difficile de savoir où placer la sonde de régulation. Comment parvenir à adapter ces émetteurs à ce type de chaudière ? Une solution simple – et connue – consiste à rajouter un talon bas. En clair, il s'agit de créer une «petite loi d'eau» : partir à 80 °C par température extérieure basse (de - 8 °C), et, lorsqu'on atteint une température extérieure plus élevée (+ 7 °C), maintenir une alimentation thermique à 50 °C pour satisfaire la température de soufflage (**figure 16b**) – mais cette consigne peut être d'une température inférieure (40, voire 35 °C) selon le dimen-

sionnement de la CTA à l'origine. Cette solution rend possible la condensation durant de nombreux jours de la période de chauffe (Cf. loi d'eau figure 16b), et améliore la régulation sur l'air dû à un différentiel de température plus faible sur la batterie. Pour parvenir à ce résultat, la régulation doit être équipée d'une sonde extérieure pour appliquer une loi d'eau avec talon bas.

C – Distinguer la réponse à la réglementation, de la condensation

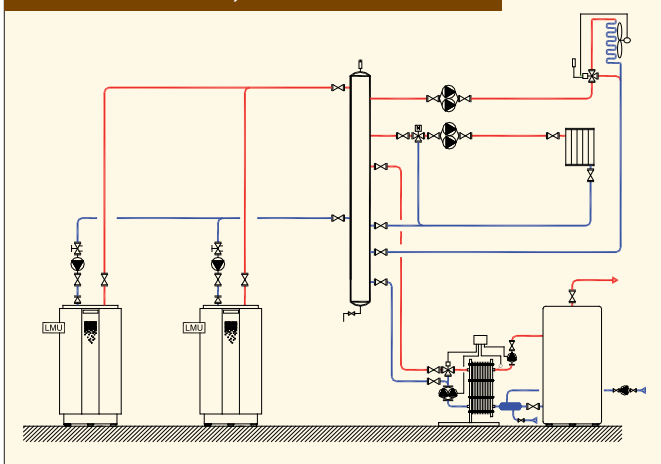
La **figure 18** présente un cas qui permet, d'un point de vue réglementaire, de gagner des kWhep grâce à l'utilisation de chaudière à condensation, voire, en rénovation, de produire des certificats d'économie d'énergie. Les deux chaudières à condensation reliées sur une bouteille de découplage hydraulique sont protégées par un débit constant et permettent d'alimenter divers types de réseaux. Cependant, ce type d'installation peut ne jamais condenser : le départ est à haute température, et les retours à la bouteille sont perturbés par les réseaux à haute températures non régulés (ECS par échangeur à plaques et aérothermes) ; la bouteille casse-pression - par définition avec une température et un débit primaire supérieur à celui du secondaire - recycle une partie du départ primaire et réchauffe les retours vers chaque chaudière. Ce d'autant plus au cours de la saison si la température primaire doit être maintenue constante ou avec un talon bas. Ce choix, plus financier que technique, ne met pas en valeur la performance des chaudières à condensation.

Conclusion

Quelles chaudières à condensation sont adaptées aux différents types de circuits rencontrés (**tableau 3**) ?

- Avec des réseaux radiateurs identiques, nul besoin de différencier les retours, la solution à deux piquages convient parfaitement.
- En présence de lois d'eau non égales, la chaudière à trois piquages est la mieux adaptée.
- Dans le cas d'une mixité de réseaux, avec des lois d'eau haute température non régulées, le générateur à deux piquages n'est

Figure 18. Une réponse à la réglementation ou aux CEE, mais condensation limitée



La mise en place de cette cascade de chaudière à condensation à 2 piquages convient pour répondre à la réglementation et protéger les chaudières mais présente un intérêt faible en terme de performance condensation.

Rappel 4

Comment associer pompes à vitesse variable et chaudières condensation ?

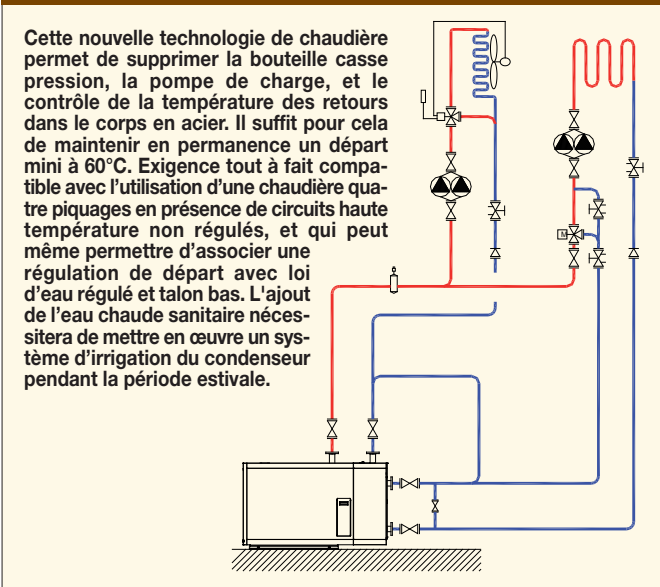
Comme il a été précisé dans le **rappel 3**, les pompes à vitesse variable sont compatibles avec les chaudières condensation deux ou trois piquages... tant que ces dernières assurent une température départ ou une température moyenne chaudière modulante ou variable.

Ainsi, les pompes à vitesse variables contribuent à améliorer le rendement global de l'installation par une diminution importante des consommations électriques, et des pertes de distributions dans la mesure où l'équilibrage et la répartition des débits dans l'installation sont bien pris en compte !

Contrairement au cas précédent où la pompe à vitesse variable intervient sur le mode de régulation des émetteurs, son utili-

sation la plus courante permet de maintenir une pression constante sur les circuits. Dans ce cas de figure, elles réagissent souvent en fonction des apports internes apportés dans chaque pièce ou chaque zone (circuits radiateurs ou planchers chauffants équipés de vannes thermostatiques). Ces types d'installations sont aussi compatibles avec les chaudières à condensation deux ou trois piquages. Pour ce qui concerne les chaudières quatre piquages, leur foyer n'a pas de contraintes ; il est protégé en débit et en température, et il faut simplement veiller à ce que le circuit qui alimente le condenseur respecte un débit minimal, valeur ajustable sur une pompe à vitesse variable.

Figure 19. Nouvelle technologie de chaudière à condensation 4 piquages permettant une hydraulique simplifiée



pas préconisé. Celui à trois piquages n'est pas optimisé ; il affichera un rendement inférieur à un équipement à quatre piquages.

La solution à quatre piquages est la plus universelle ; selon sa conception et selon s'il y a ou non présence d'ECS, elle nécessite parfois d'un investissement hydraulique supplémentaire, mais face à des réseaux haute température non régulés, c'est la meilleure option technique.

Par ailleurs, en rénovation, alors que les concepteurs ou les exploitants recherchent généralement à simplifier l'hydraulique, il est important de diagnostiquer les circuits : il sera illusoire de passer à deux ou trois piquages des installations qui contiennent des réseaux à haute température constante ; le rendement serait alors plus mauvais qu'avec la chaudière quatre piquages à remplacer...

Tableau 3

Types de circuits	Types de chaudières condensation		
	2 piquages	3 piquages	4 piquages
Lois d'eau égales Ex : 2 circuits radiateurs	Optimisé	Non justifié	Non justifié
Lois d'eau non égales Ex : 1 radiateur + 1 PCBT	Non optimisé	Optimisé	Optimisé
Lois d'eau et haute température constante Ex : 1 radiateur + 1 sous-station	Non préconisé	Non optimisé	Optimisé

L'utilité d'une chaudière quatre piquages n'est plus à prouver, c'est pour cette raison que de nouvelles conceptions sont développées (Condenseco), permettant de cumuler les avantages de la simplification hydraulique et de la performance grâce à une adaptation en deux, trois, ou quatre piquages (**figure 19**).

Dernier point : les consommations conventionnelles annoncées par les logiciels réglementaires, ou les économies de consommation annoncées par les Certificats d'Economie d'Energie sont des valeurs conventionnelles qui considèrent que les lots techniques sont installés et exploités dans des conditions optimales. L'écart par rapport aux consommations ou aux économies réelles peut être significatif. Cependant, pour optimiser la performance de sa chaudière à condensation et de son installation, il convient de sélectionner un générateur adapté aux circuits hydrauliques qu'il alimente, et de maîtriser au mieux l'environnement dans lequel il est installé. En outre, n'oublions pas que le maintien de sa performance dans le temps passera obligatoirement par une exploitation suivie.

Vous recrutez ?

www.edipa.fr
rubrique petites annonces