

Formation de Technicien de Maintenance en Equipements Thermiques

Tome 4

- Vannes Thermostatiques (Précisions)
- Plancher Chauffant (Détails)
- Régulation
- Légionéloose
- Adoucisseur
- Circuits ECS
- Tours de Refroidissement



Sept. 2010 - Sept. 2011

VANNES THERMOSTATIQUES (PRECISIONS)

Rôle et Fonctionnement

Les vannes thermostatiques équipent souvent les radiateurs. Elles permettent de régler une certaine température de confort dans une pièce en jouant sur le **débit** d'eau chaude qui traverse le radiateur.



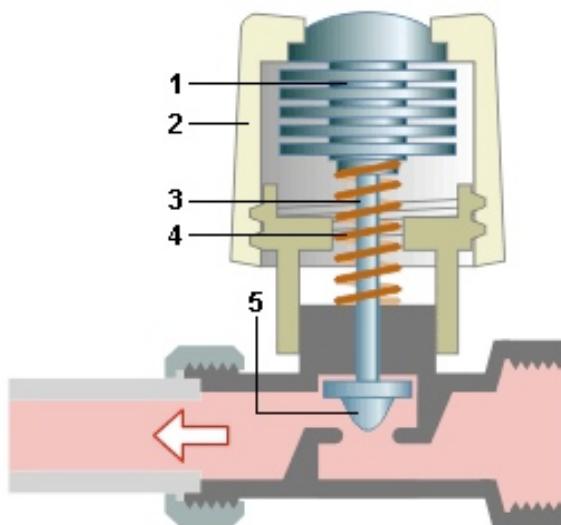
Les vannes thermostatiques ne servent qu'à "ajuster" le réglage de la température dans une pièce, mais en aucun cas elles ne doivent être considérées comme moyen principal de régulation d'un bâtiment. Elles en seraient bien incapables (*ce rôle est rempli par la régulation en chufferie qui pilote la V3V en suivant une "loi de chauffe"*).

Leur principe de fonctionnement est simple:

Une sonde de température (remplie de gaz, de gel ou de liquide) va agir en se dilatant sur un clapet qui va fermer ou ouvrir plus ou moins le passage d'eau.

Eléments d'une vanne thermostatique :

1. Sonde de température ou bulbe thermostatique (poche de gaz).
2. Poignée de réglage pour fixer le point de consigne.
3. Tige de transmission.
4. Ressort de rappel.
5. Clapet de réglage.



VANNES THERMOSTATIQUES (PRECISIONS)

- Généralement, la sonde de température (ou **bulbe** thermostatique) est logée dans la poignée de la vanne. Cette sonde est composée d'un liquide, d'un gel ou d'un gaz qui se dilate ou se contracte en fonction de la température qui l'environne.
- Des repères de consigne sont repris sur la poignée de la vanne (*, 1, 2, 3, 4, 5). En général, la **consigne 3** correspond à **plus ou moins 20°C** et *, au maintien "**hors gel**" (à peu près 7°C).
- La position du clapet de réglage est déterminée par l'équilibre entre la poche de gaz et le ressort de rappel : lorsque la température mesurée est inférieure au point de consigne, le bulbe thermostatique se contracte, le ressort entraîne une ouverture du clapet de réglage et le débit est augmenté dans le radiateur. L'inverse se produit quand la température mesurée est trop élevée.

Les erreurs de manipulation courantes

Comprendre ce principe de fonctionnement, c'est éviter les erreurs de manipulation:

- Dans un local inoccupé, la consigne des vannes thermostatiques a été réglée sur *. A l'arrivée des occupants, le chauffage ne sera pas relancé plus rapidement si l'on met la consigne sur 5 que sur 3. En effet, dans les deux cas, le bulbe thermostatique mesure un écart de température important entre sa consigne et la température ambiante et le clapet de réglage de la vanne est ouvert en grand. Le risque, en plaçant la consigne de température sur 5, est de chauffer le local en permanence à 24°C, voire plus.
- Dans un local occupé, l'expérience des occupants montre que la bonne température est atteinte avec une consigne de 3. Un jour, la température intérieure est insuffisante. Dans ce cas, cette dernière ne sera pas améliorée si la consigne est mise sur 4. En effet, s'il fait trop froid alors que la consigne n'a pas été modifiée, la vanne est déjà ouverte en grand et le débit dans le radiateur est déjà maximal. Le coupable n'est donc pas la vanne mais plutôt la régulation centrale qui, par exemple, envoie de l'eau trop froide. Mettre la vanne sur 4 n'augmentera pas le débit du radiateur. Par contre, lorsque la régulation centrale sera corrigée, le local sera surchauffé.
- Le raisonnement inverse est aussi valable : si, subitement, il fait trop chaud (par exemple, à cause de l'ensoleillement), mettre la vanne sur 1 ne changera rien puisque le clapet de la vanne est en principe déjà fermé. Par contre, si on laisse les vannes sur cette consigne, la relance matinale ne pourra se faire puisque les clapets se fermeront rapidement.

VANNES THERMOSTATIQUES (PRECISIONS)

- **Attention quand on pense avoir isolé le radiateur en fermant complètement la vanne thermostatique.** En fait, on est sur la position “hors gel”. Tant que la température dans le local ne chute pas en dessous de 7°C environ, la vanne restera fermée. Mais si elle descend en dessous, alors la vanne s’ouvrira et l’eau coulera dans la pièce!

C'est ce qui peut arriver dans un local lorsqu'on est appelé pour démonter un radiateur afin de permettre aux peintres de peindre le mur. Si on se contente de fermer la vanne thermostatiques et le robinet de retour pour isoler le radiateur et le démonter, on prend un risque, surtout si on est en hivers.

En effet, les peintres ont l'habitude d'ouvrir les fenêtres pour dissiper les odeurs de peintures et accélérer le séchage. En faisant cela, si la température extérieure est très basse (< 7°C), celle du local suivra et la vanne qui est en position “hors gel” s’ouvrira, inondant ainsi le local.

Dans un tel cas, il est préférable de prendre ses précautions et mettre un bouchon à la sortie de vanne ou bien retirer la tête thermostatique et la remplacer par un capuchon à visser à fond (quand c'est possible).

Les Types de Vannes Thermostatiques



Modèle standard avec sonde thermostatique et réglage libre incorporés.



Modèle avec sonde thermostatique séparée (pouvant être placée à distance) et réglage libre incorporé.



Modèle avec préréglage du débit pour équilibrer les différents radiateurs.



Modèle institutionnel avec bague antivol (l'organe de fixation n'est pas accessible à l'occupant) et blocage de la plage de réglage.

PLANCHER CHAUFFANT (DETAILS)

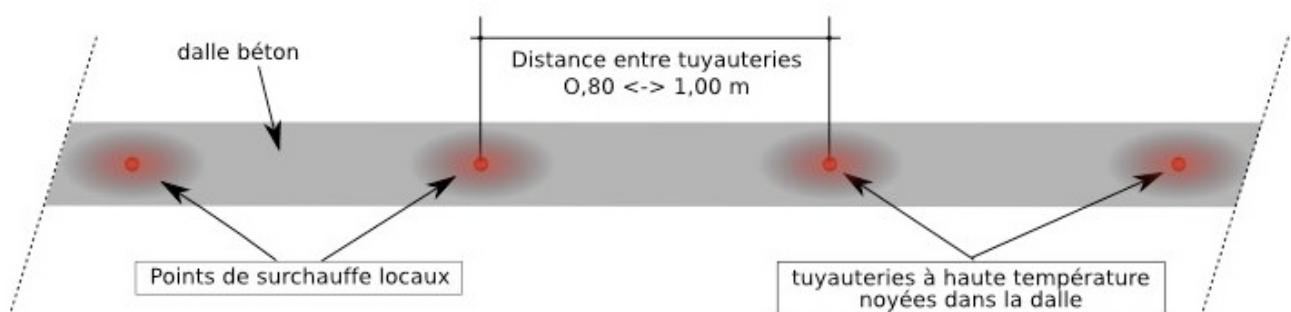
Les Nouveaux Planchers Chauffants

Le plancher chauffant a longtemps été décrié. Il est vrai que la mise en oeuvre des premiers planchers, il y a 50 ans, engendrait de nombreux désagréments:

- Surchauffes locales
- Sensation de chaleur peu agréable
- Gonflement des jambes
-

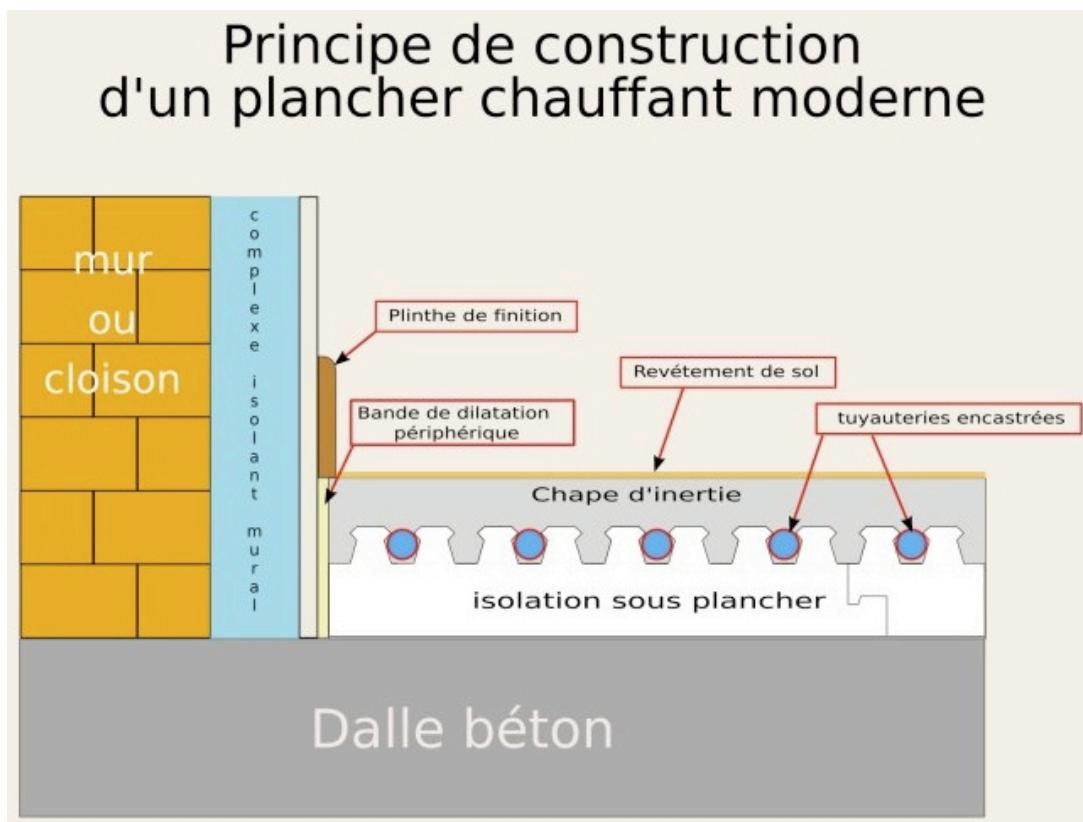
- Les premiers systèmes étaient constitués de tuyauteries (souvent en acier) noyées dans les dalles de béton entre étages, ce qui constitue, hormis la nature de la tuyauterie, le seul point commun avec ce qui se fait aujourd'hui.
- La température de l'eau chaude circulant dans les tuyauteries passant dans les dalles pouvait quelquefois atteindre **80 °C**, ce qui créait des points de surchauffe dans le béton, la distance entre deux tuyaux étant quelquefois de **1m**. Le peu de longueur de tuyauterie installée (par rapport à ce qui se fait aujourd'hui) obligeait à chauffer l'eau à haute température.

Coupe d'un plancher chauffant première génération



Les nouveaux plancher chauffants utilisent une tuyauterie en PER ce qui permet de réaliser un quadrillage très serré du sol (distance entre tuyauteries de 15 cm). La longueur de tuyauterie déployée est donc beaucoup plus importante que pour les anciens planchers et par conséquent, la température de l'eau qui circule n'a plus besoin d'être aussi chaude (30°C à 40°C seulement).

PLANCHER CHAUFFANT (DETAILS)



Mais revenons au principe de base du plancher chauffant. L'idée de départ est de chauffer un local en utilisant l'inertie d'un sol, si possible de forte densité tel que le béton. Il suffit d'y incorporer des tuyauteries ou des résistances électriques afin de réchauffer cette masse pour ensuite restituer cette énergie au local à chauffer, essentiellement par radiation, ce qui représente un avantage important dans les pièces d'une certaine hauteur.

Les systèmes utilisés aujourd'hui présentent les caractéristiques suivantes:

Avantages:

- 1 pas d'impact sur l'espace des pièces concernées, en dehors de l'encombrement de la nourrice située dans la plupart des cas dans un placard. Cela peut faciliter la décoration et l'aménagement.
- 2 très intéressant dans le cas de pièces assez hautes (mezzanines, etc...) car ne chauffe pas l'air directement, donc ne crée pas d'effet de cheminée avec le stockage d'air chaud au plafond.
- 3 garantit une chaleur très douce car la dalle béton ne monte que très peu en température (25-27 °C), la chaleur est quasiment indétectable.
- 4 la température de l'eau circulant dans les tuyauteries ne dépasse jamais 40 °C par grand froid et se situe le plus souvent aux alentours de 25-30 °C.

PLANCHER CHAUFFANT (DETAILS)

- 5 Ces températures de fonctionnement ont beaucoup d'avantages car elles permettent dans tous les cas de profiter des avantages de la basse température, l'utilisation de la condensation au maximum ou encore le recours à une pompe à chaleur que ce soit une pompe classique ou encore la géothermie.
- 6 il existe également des planchers chauffants électriques.

Inconvénients:

- 1 assez coûteux à l'installation, mais facilement rentabilisable.
- 2 ne permet de chauffer que la partie rez-de-chaussée d'un logement. Il faut régulièrement prévoir un autre système (radiateurs par exemple) dans la partie étage.
- 3 peut générer de l'embouage si la matière plastique utilisée est poreuse aux reprises d'oxygène.

Principes Généraux de Pose

Le plancher chauffant se pose en général sur une dalle en béton servant de radier. Cette dalle n'est en général pas isolée thermiquement.

La 1^o étape de l'installation consiste, après un balayage soigné, à poser une bande périphérique en mousse souple autocollante. Cette mousse d'une épaisseur de 5 mm environ va permettre de désolidariser la chape finale permettant sa dilatation ultérieure.

1

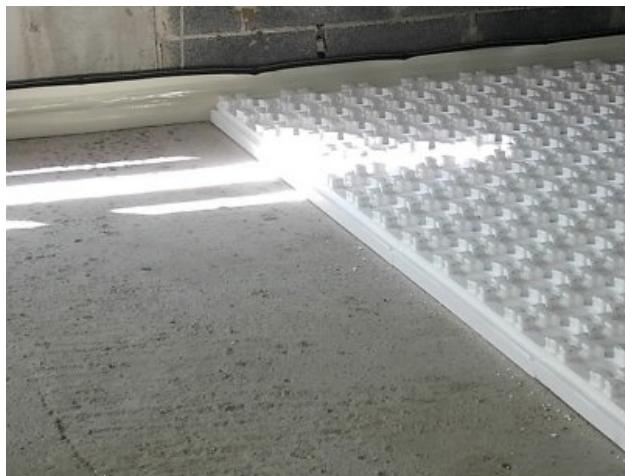


2



PLANCHER CHAUFFANT (DETAILS)

3



4



5



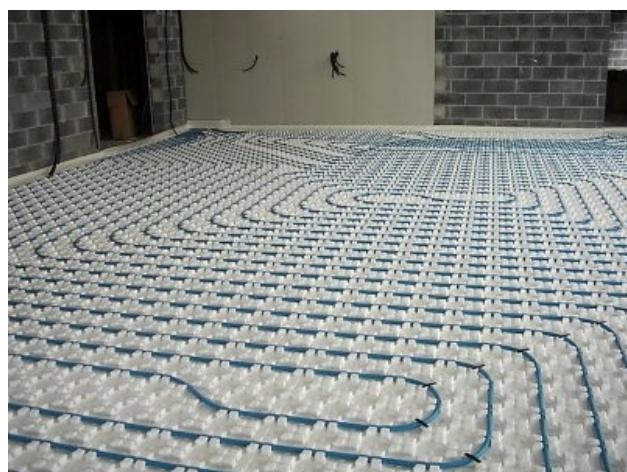
6



7



8



8

PLANCHER CHAUFFANT (DETAILS)

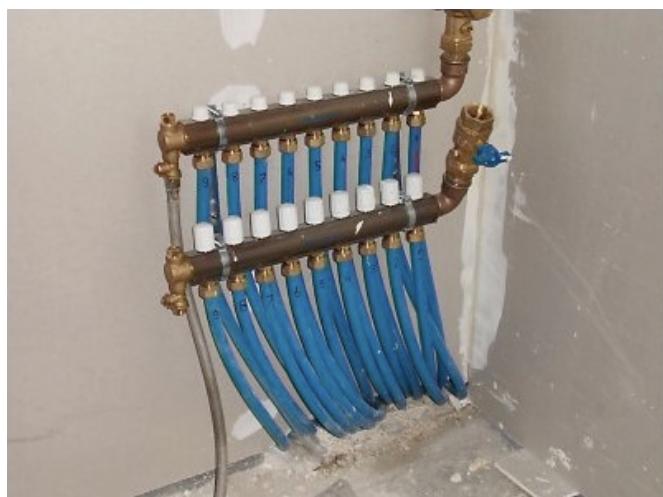
9



10



11



Toutes les tuyauteries du plancher sont raccordées à deux collecteurs, un pour le départ (celui du haut), l'autre pour le retour (celui du bas). Il faut évidemment bien repérer toutes les tuyauteries afin de raccorder logiquement les collecteurs.

Le collecteur de départ est équipé de vannes (les petits bouchons blancs) permettant à la fois l'équilibrage (là aussi, il faut équilibrer l'installation) et l'isolement de l'un ou de l'ensemble des circuits en cas de problème.

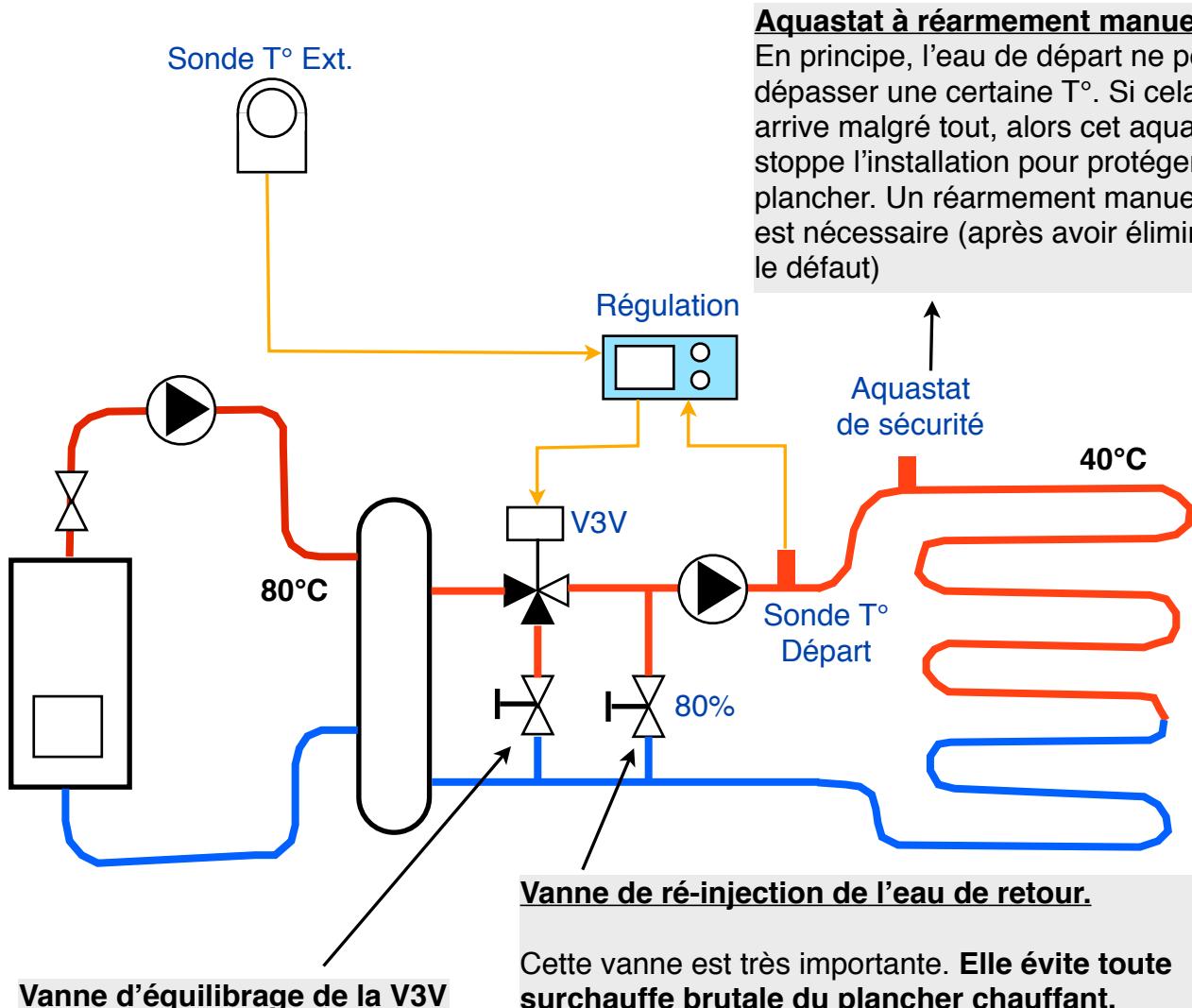
Le collecteur de retour est quant à lui équipé de vannes thermostatisables (les gros bouchons blancs), dans le cas de pièces séparées, ce qui n'est pas le cas ici.

Il ne reste plus qu'à raccorder les collecteurs au circuit principal de l'installation et de remplir l'installation, après avoir fait une mise en épreuve avec la pompe idoine. Dans ce cas précis, la mise en épreuve a duré 3 jours à 8 bars, sans soucis particuliers.

PLANCHER CHAUFFANT (DETAILS)

N'oubliez pas non plus que l'installation par plancher chauffant doit toujours être traitée par l'injection dans l'installation d'un produit de traitement préconisé par le constructeur afin de garantir le bon fonctionnement.

Circuit Hydraulique Typique d'un Plancher Chauffant



La vanne de ré-injection empêche toute montée brutale de T° de départ en ré-injectant 80% de l'eau de retour. La T° évolue doucement ce qui laisse le temps à la régulation d'agir malgré le retard d'information pouvant exister.

Cette vanne est très importante. **Elle évite toute surchauffe brutale du plancher chauffant.** En effet, selon sa distance avec la V3V, la sonde de départ enregistre la T° avec quelques secondes de décalage (*ex: une distance de 3 mètres engendre un délai de 3 sec si on considère une vitesse de circulation de 1 m/s*). Si la V3V s'ouvre en grand et envoie un paquet d'eau chaude, la régulation recevra l'information avec 3 sec de retard. La V3V se fermera avec retard. Pendant ce temps, une eau à 80°C aura été injectée dans le plancher avec tous les risques que cela implique (**fissure de la dalle**).

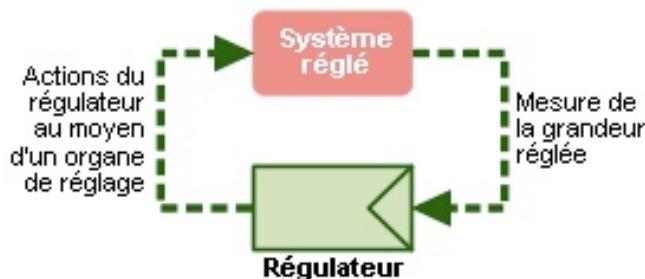
REGULATION

Les Différents Modes de Régulation

Réguler, c'est fournir automatiquement la quantité de chaleur dont a besoin un bâtiment pour maintenir une température de consigne, et ce quelque soit les conditions extérieures.

Globalement, tous les modes de régulation utilisent le même principe de base:

- Il y a **comparaison** entre la consigne attendue et la valeur atteinte
- et de cet écart naît une **action correctrice**.



Les différents modes de régulation diffèrent entre eux par la façon dont ils exécutent cette action correctrice. Selon la méthode employée, les caractéristiques de la régulation seront différentes.

On rencontre en général 4 méthodes de régulation:

- **“Tout ou Rien”** (aussi appelé **“TOR”** ou **“ON-OFF”**)
- **Proportionnelle** (aussi appelée **“P”**)
- **Proportionnelle-Intégrale** (aussi appelée **“PI”**)
- **Proportionnelle-Intégrale-Dérivée** (aussi appelée **“PID”**)

Chacune de ces méthodes de régulation possède des caractéristiques qui leurs sont propres et que nous allons étudier ci-après.

Par conséquent, chaque mode de régulation est utilisé dans des applications ciblées.

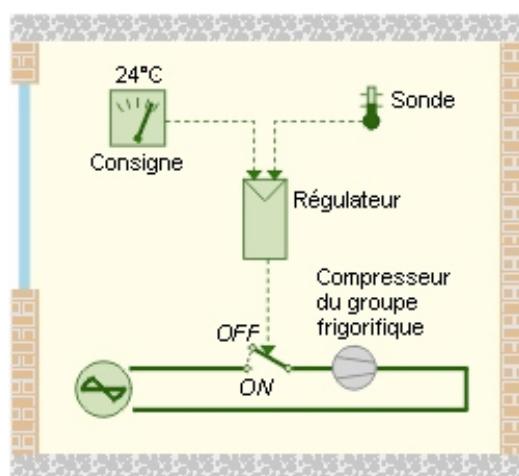
REGULATION

La régulation “Tout-Ou-Rien” (“TOR”)

Dans ce mode de régulation, l'organe de réglage ne peut occuper que 2 positions extrêmes uniquement.

Prenons l'exemple d'une régulation de la température ambiante par un groupe frigorifique (climatisation). Supposons une consigne placée à 24°C.

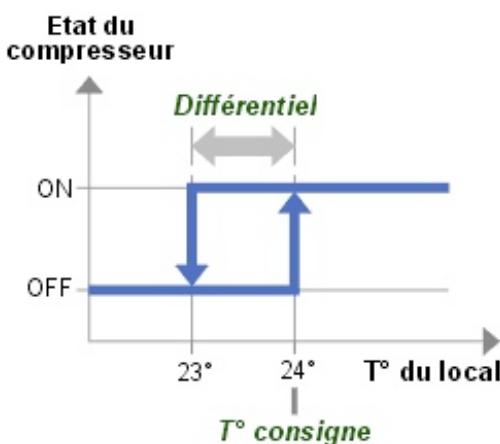
Si la température ambiante dépasse la valeur de consigne ($24,05^{\circ}\text{C}$), le régulateur le détecte et ferme l'interrupteur. Le compresseur est enclenché à 100 % et la température du local redescend:



Si une température de $23,95^{\circ}\text{C}$ suffisait pour arrêter le groupe frigorifique, un risque de "**pompage**" apparaîtrait : le compresseur passerait de "marche" à "arrêt", puis à "marche", ... avec une telle fréquence que le matériel en souffrirait.

On prévoit dès lors le placement d'un **differentiel**, dont la valeur est réglable par le technicien.

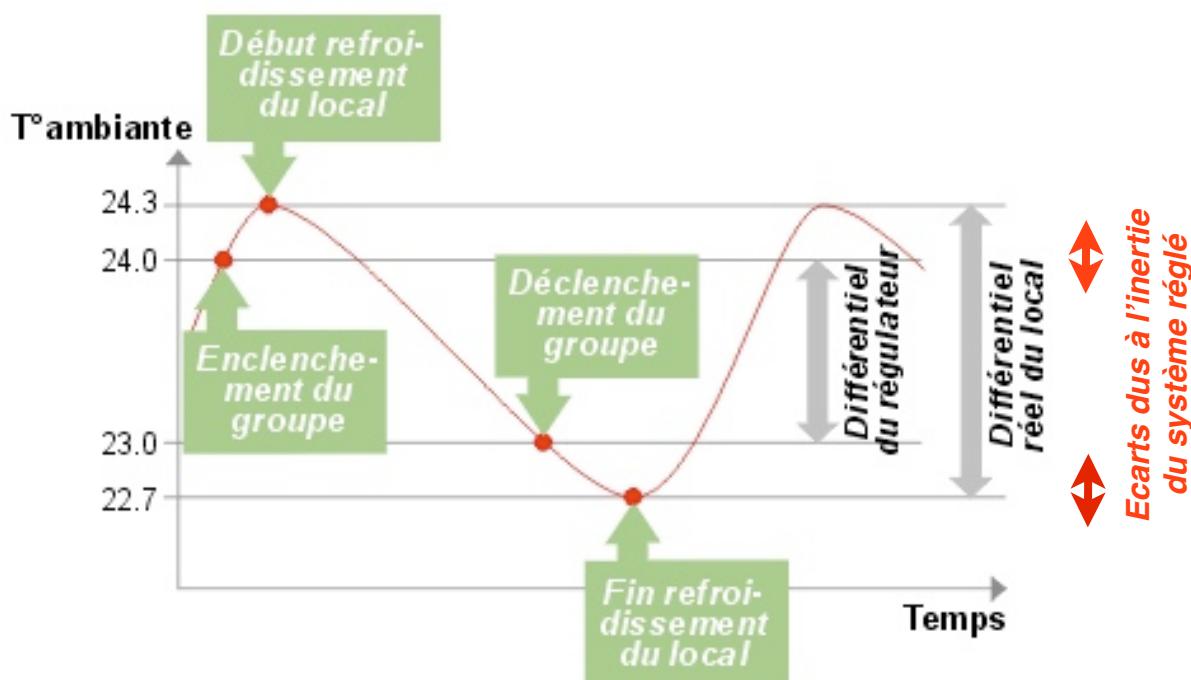
Par exemple : le compresseur s'enclenche à 24°C et s'arrête à 23°C .



REGULATION

Caractéristiques:

- 1) Plus le différentiel est élevé, plus la machine travaillera dans de bonnes conditions (longues plages de travail propices à un bon rendement du compresseur), mais plus la température oscillera dans le local ... Ceci diminue le confort et généralement augmente la consommation (ici, la vraie température moyenne de consigne est de 23,5°).
- 2) Et ce phénomène est amplifié par l'inertie du local : le local a un temps de repos tel que le différentiel réel est peut être de 1,6°C (22,7 à 24,3°C, par exemple):



Conclusions sur la régulation “Tout-Ou-Rien”:

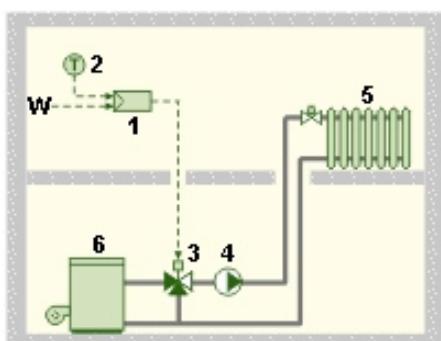
- 1) Un différentiel du régulateur est généralement nécessaire. Il faut bien le choisir:
 - Elevé: il permet d'allonger les plages de fonctionnement des appareils de réglage, mais en contrepartie l'amplitude de la valeur réglée est grande.
 - Faible: C'est l'inverse. L'amplitude de la valeur réglée est faible (donc reste proche de la consigne), mais au prix d'un "pompage" plus important des appareils de régulation (Marche-Arrêt-Marche-Arrêt-Marche- etc..)
- 2) Pour avoir une régulation “Tout-Ou-Rien” efficace, il faut:
 - que l'inertie thermique du système réglant soit faible par rapport à celle du système réglé. (*C'est pour cela que la régulation TOR est inadaptée aux planchers chauffants. Le système réglant (la dalle) a une grande inertie*)
 - que la boucle de régulation réagisse sans retard.

REGULATION

La Régulation Proportionnelle ("P")

Imaginons un meilleur système :

Une vanne 3 voies mélangeuse qui modulerait la température d'alimentation d'un radiateur pour que celui-ci reçoive la température d'eau juste nécessaire, telle que l'émission de chaleur du radiateur soit justement égale aux déperditions de la pièce. C'est dans ce cas que la température d'ambiance serait stable:

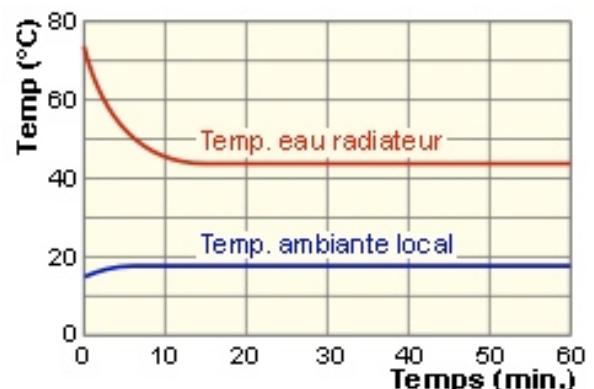
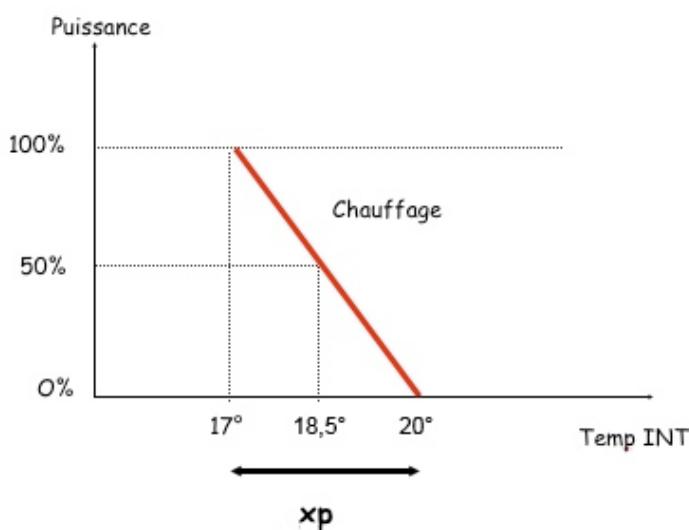


- 1 : régulateur
- 2 : sonde de température d'ambiance
- 3 : vanne 3 voies mélangeuse
- 4 : pompe de circulation
- 5 : radiateur
- 6 : chaudière

Soit une consigne fixée à 20°C.

Supposons au départ une température ambiante inférieure à la consigne. Il faut donc chauffer.

Supposons que la vanne soit toute ouverte (100%) pour 17°C (écart de 3° par rapport à la consigne). De l'eau très chaude arrive, la température ambiante monte et arrive à 18,5°C. L'écart est alors de 1,5°C et la vanne n'est plus ouverte qu'à 50 %. Hélas, arrivée à 19°C, plus rien ne bouge : la température du local est stabilisée et l'ouverture de la vanne aussi : elle est ouverte au tiers de sa valeur maximale.



REGULATION

Pourquoi la vanne se stabilise quand la T° arrive à 19°C et non pas 20°C?

Avec une ouverture au tiers, elle fournit de l'eau à une température telle que l'émission du radiateur compense exactement les pertes du local. La température reste à 19°C, l'écart reste de 1°C par rapport à la consigne, et cet écart entraîne 33 % d'ouverture ! **Tout est stable et le restera.**

Il est d'ailleurs impossible que l'on atteigne les 20°C souhaités! Si c'était le cas, l'écart serait nul, la vanne serait fermée, le local se refroidirait puisque les déperditions continuent, donc l'écart ne resterait pas nul!

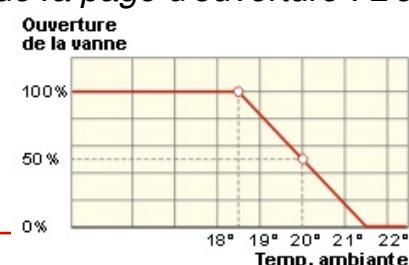
C'est le problème d'une régulation proportionnelle à **l'écart par rapport à la consigne** : puisqu'il faut du chauffage, il faut que la vanne soit ouverte, il faut donc qu'un écart subsiste. La température se stabilisera sur 19°C, au lieu des 20°C demandés.

Ne pourrait-on pas tricher sur la consigne?

Pourquoi ne pas indiquer 19° sur le régulateur au lieu de 20°C ? Hélas non : imaginons qu'il fasse - 10°C à l'extérieur, le chauffage aura besoin de toute la puissance de chauffe, la vanne devra être ouverte à 100 %. la température ambiante va donc se stabiliser sur 17°C . **Il faudrait donc adapter l'indication du régulateur en fonction de la température extérieure**, ce qui est impossible.

Remarque:

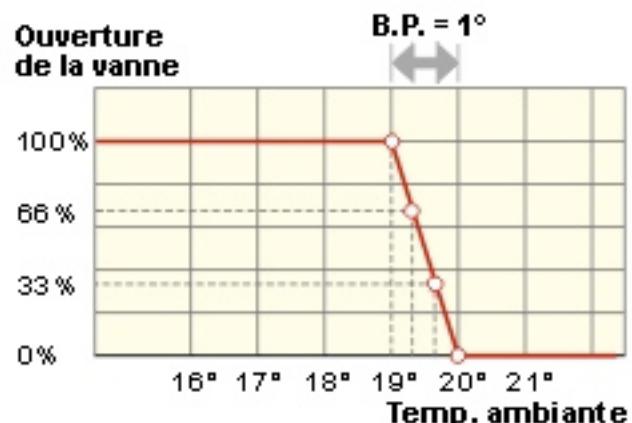
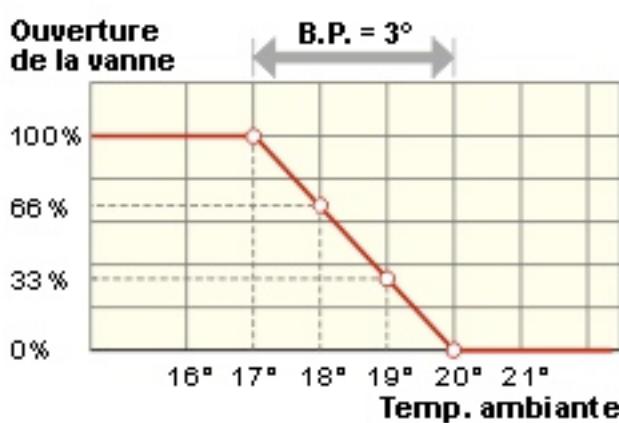
- *On comprend pourquoi les constructeurs de vannes thermostatiques n'indiquent pas la température de consigne mais bien des chiffres 1-2-3-4-5 : le fonctionnement d'une vanne thermostatique répond à une régulation proportionnelle.*
- *S'il fait froid, si la température de consigne n'est pas atteinte, la poche de gel de la vanne va se contracter et de l'eau alimentera le radiateur. Puisque le local perd de la chaleur, la vanne devra rester ouverte en permanence.*
- *De combien devra-t-elle être ouverte ? Le constructeur ne pourra pas le dire puisqu'elle dépend de l'importance des déperditions et donc de la température extérieure. Il a seulement pu intelligemment améliorer quelque peu la régulation proportionnelle en plaçant la consigne au milieu de la page d'ouverture : L'écart à la consigne est ainsi diminué en moyenne.*



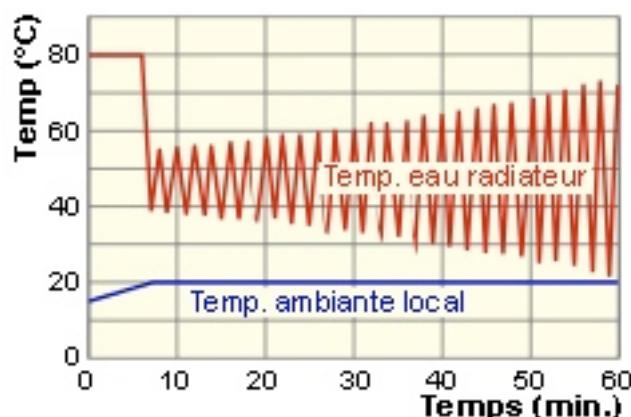
REGULATION

Nouvelle idée : ne pourrait-on pas diminuer la plage de température qui génère l'ouverture de la vanne afin de réduire l'écart existant par rapport à la consigne?

En reprenant la situation de la page précédente, si la vanne était 100 % ouverte en dessous de 19°C, elle se stabilisera à 33 % de sa valeur pour une température ambiante de 19, 66°C. C'est effectivement une possibilité : on dit que l'on réduit **la bande proportionnelle** de 3 à 1°C.



Mais attention, cette solution a ses limites : avec une bande proportionnelle trop courte, le système va se mettre à osciller, passant de trop ouvert à trop fermé, parfois sans pouvoir se stabiliser. On dit que le système "**pompe**", incapable de se stabiliser:

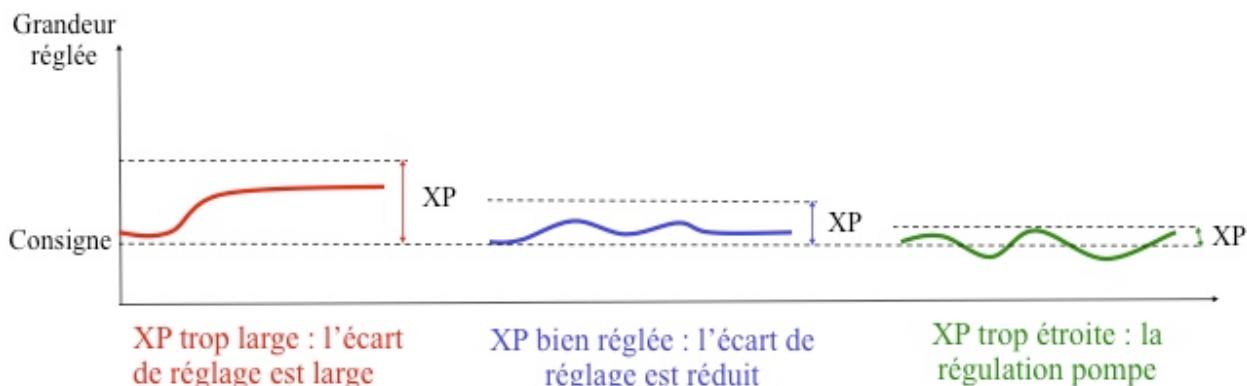


REGULATION

Conclusion sur la régulation Proportionnel:

- 1) Un écart entre consigne et valeur réglée existe toujours (**écart résiduel**).
- 2) Il est possible d'optimiser cet écart en agissant sur la **bande proportionnelle**.
Mais encore une fois, cela nécessite un réglage précis:

- Si on réduit de trop la bande proportionnelle: alors il y a risque de pompage des appareils de réglage.
- Si on augmente la bande proportionnelle: alors l'écart permanent résiduel augmentera également.



- Ainsi l'action "P" seule ne peut effectuer un réglage correct si la grandeur de réglage est soumise à de fortes variations (**fortes variations** \Leftrightarrow **large bande proportionnelle** \Leftrightarrow **écart résiduel important**).
- De plus, la régulation "P" est insensible à la vitesse de variation ou à la durée de cet écart.

Des moyens d'actions complémentaires à l'action proportionnelle ont été imaginés afin de palier à ces inconvénients:

- l'action complémentaire "**Intégrale**": va permettre d'**annuler l'écart résiduel**.
- l'action complémentaire "**Dérivée**": va permettre de **suivre des variations rapide de grandeurs**.

REGULATION

La Régulation Proportionnelle-Intégrale” (“PI”)

On a vu qu'en agissant avec une force proportionnelle à l'écart entre l'ambiance et la consigne, un écart subsiste en permanence. On décide dès lors que la force d'intervention aura **deux composantes**:

- La première, c'est la force **proportionnelle à l'écart**, comme dans la première solution ci-dessus.
- Mais une deuxième force la complète : une force proportionnelle à **l'intégration de l'écart dans le temps**, c'est-à-dire proportionnelle à la somme de tous les écarts mesurés en permanence.

Fonctionnement:

- Si la température se stabilise à 19°C, de par la composante proportionnelle, un écart de 1°C subsiste (voir exemple du chapitre précédent).
- Tous les "pas de temps", le régulateur va mesurer cet écart et l'additionner à la valeur d'une case "mémoire". L'ouverture de la vanne sera donnée par la somme des 2 composantes. Tant que la consigne ne sera pas atteinte, la composante Intégrale augmentera, la vanne s'ouvrira un peu plus, jusqu'à atteindre cette fois la consigne.
- Une fois celle-ci atteinte, l'écart est nul et la composante intégrale n'est plus modifiée (puisque elle additionne une valeur "0"). Si la consigne est dépassée, l'écart sera négatif et la composante intégrale diminuera.

Dans le fond, cette composante intégrale ne pourrait-elle travailler seule?

Non, elle est trop lente pour réagir efficacement à des variations de la demande thermique. Il faudrait diminuer son "pas de temps" (diminuer le "temps d'intégration") mais alors à nouveau le système devient instable.

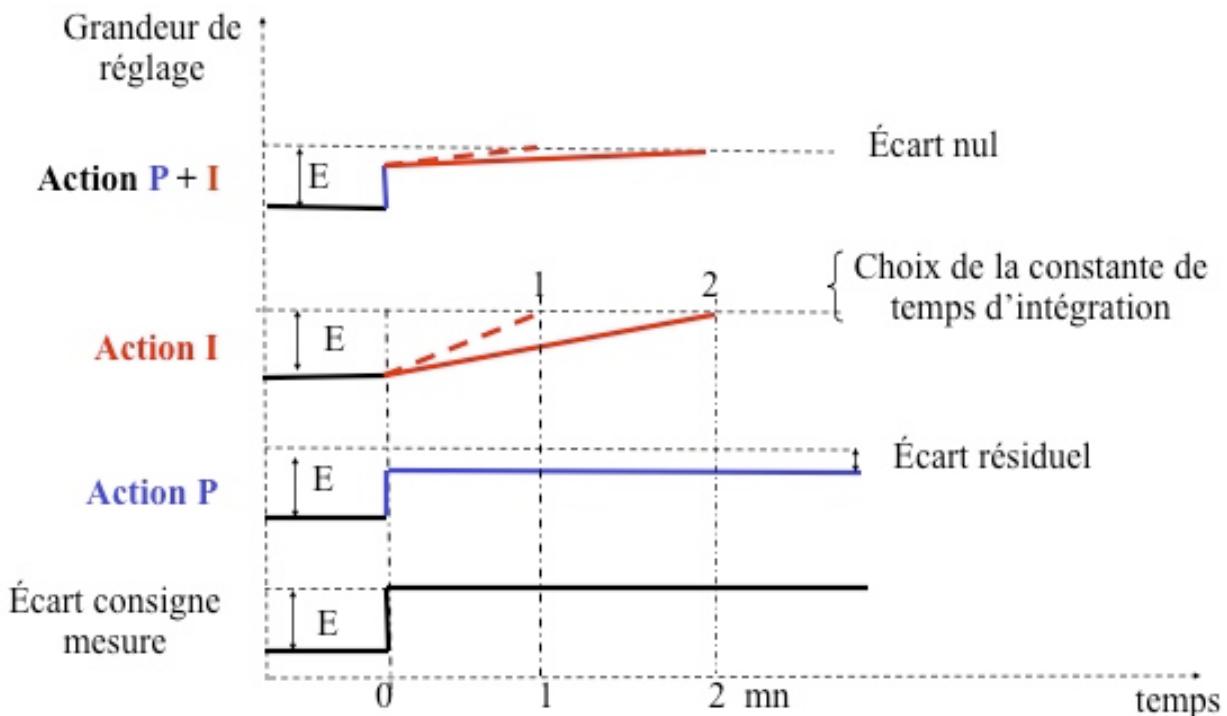
C'est bien le mariage des 2 actions (**P** et **I**) qui est le plus adéquat pour répondre à la demande : la composante **P** fait le gros du travail, puis la composante **I** affine dans le temps. C'est le mode de régulation souvent rencontré dans les systèmes thermiques à eau.

REGULATION

L'addition de l'action intégrale au mode proportionnelle permet d'annuler automatiquement l'écart du régulateur **P**.

Le régulateur possède deux paramètres de réglage :

- La bande proportionnelle (**XP**)
- La constante de temps d'intégration (**ti**) qui est le dosage de l'action intégrale.



REGULATION

La Régulation Proportionnelle-Intégrale-Dérivée (“PID”)

Dans la fonction dérivée, l'action du régulateur est proportionnelle à la **vitesse de variation de l'écart de réglage** et non plus à la valeur de l'écart.

- Plus la vitesse de variation de l'écart est brusque, plus l'action du régulateur est importante.
- Si la vitesse de variation de l'écart est constante, l'action dérivée est annulée.

Dans les installations de conditionnement d'air, le fluide à réguler peut être de l'air. Or, n'ayant que peu de capacité thermique, l'air verra sa température varier très rapidement en fonction de la position de la vanne de réglage.

Il faut donc ajouter une 3ème composante à la grandeur de réglage : une force dont la valeur est d'autant plus grande que l'écart varie rapidement, c'est-à-dire d'autant plus grande que la "dérivée" de l'écart par rapport au temps est élevée.

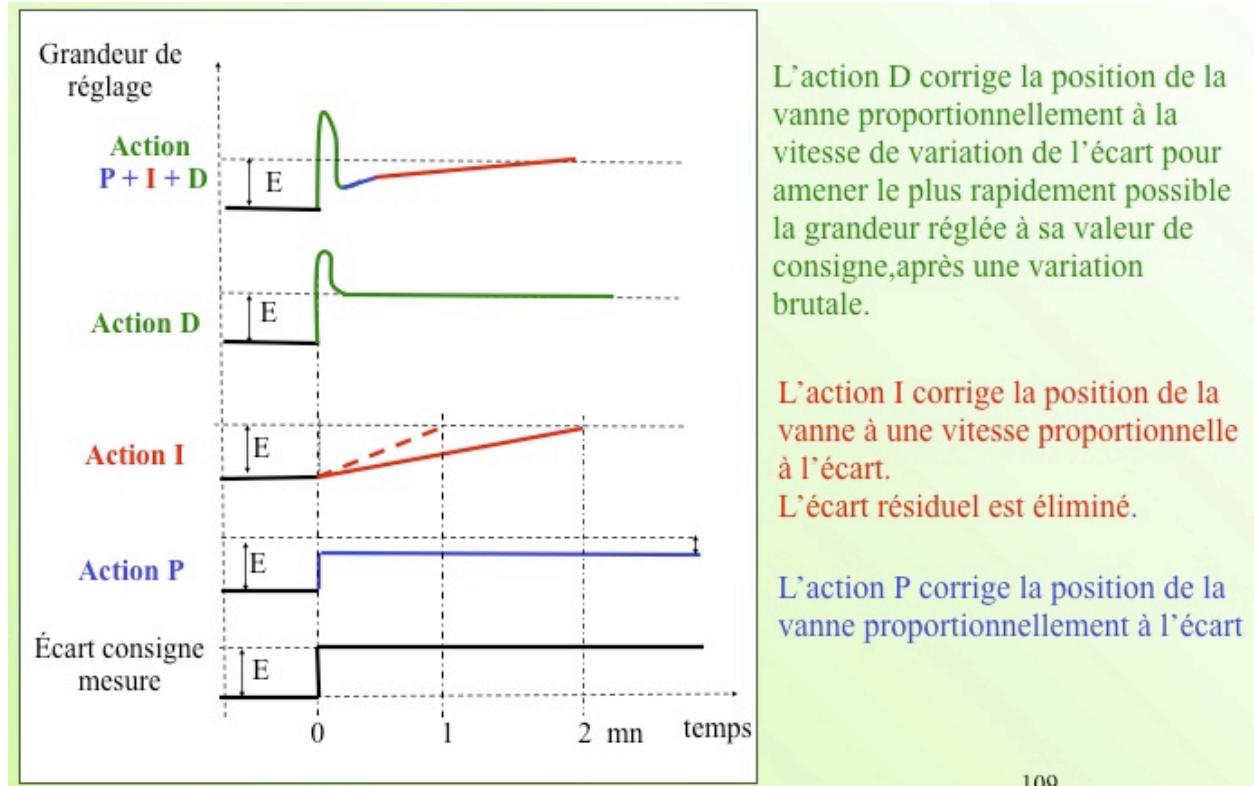
La valeur de la "grandeur réglée", la température de l'eau de radiateur (ou ici l'ouverture de la vanne) sera le résultat d'une addition de 3 grandeurs :

- une composante proportionnelle à l'écart existant (**P**),
- une composante proportionnelle à l'intégrale de l'écart dans le temps (**I**)
- et une composante proportionnelle à la dérivée de l'écart (**D**).

Reste à affiner les **bandes proportionnelles, temps d'intégration et temps de dérivation** pour adapter l'importance respective de ces 3 composantes . C'est le travail du "metteur au point" de l'installation de régulation qui affine les valeurs de base réglées d'usine.

REGULATION

Résumé sur la régulation PID:



109

REGULATION

Récapitulatif des Différentes Régulations

Mode	Avantages	Inconvénients	Fonctions	Applications
Tout Ou Rien	Régulation simple Fiable Économique	Fluctuation de la grandeur réglée	Régulation à point de consigne fixe	Systèmes à grande inertie Commande d'organes électriques (VEM, moteurs...)
P	Bonne sensibilité	Écart par rapport à la consigne Ne supporte pas les irrégularités	Boucle de régulation longue	Régulation de température ambiante.
PI	Affinement de l'écart du P Bonne stabilité Compense les irrégularités lentes	Action relativement lente Ne corrige pas les variations brutales	Régulation des systèmes à variation de charge lente	Régulation de température départ en fonction de l'extérieur. Régulation d'air pulsé.
PID	Stabilisation très rapide Écart permanent nul	Réglage à entretenir Configuration coûteuse	Processus élaboré avec des paramètres à contrôler très précis	Systèmes de régulation avec des tolérances faibles. Processus industriels.

LEGIONELLOSE

Les Dangers de la Legionellose

- La légionellose est une bactérie.
- Sa transmission se réalise par **inhalation** d'aérosols (gouttelettes de 1 à 5 microns) et **contamination des poumons**.
- On pourra donc être contaminé en prenant une douche **mais pas en buvant** un verre d'eau, puisque la bactérie ne survit pas dans l'estomac.

Dans moins de 5 % des cas, elle provoque une pneumonie avec un taux de mortalité de 10 à 20 %, mais dans 90 % des cas, on parlera d'une grippe, ce qui est plus bénin.

Les Conditions de Développement des Bactéries

Les bactéries de la légionelle se trouvent à l'état naturel dans les fleuves, les lacs, les puits et les eaux thermales. On les retrouve aussi dans l'eau sanitaire. Leur simple présence ne présente pas de danger. Elles ne deviennent dangereuses que si elles se développent en masse quand les conditions suivantes sont remplies:

1 - Température optimale de développement

entre 25 et 42°C

la croissance des bactéries est maximale
à 37° environ (température de douche par ex.)

C'est le cas dans les installations
basse température ou bien là où
il y a des "bras morts".

2 - Milieu aérobie

C'est-à-dire, milieu avec présence
d'oxygène (cas de l'eau sanitaire)

C'est le cas dans des tuyauteries contenant
de la boue et du tartre. Un film gras se
dépose à l'intérieur de la tuyauterie et crée
un refuge pour les bactéries. De plus, la
corrosion les nourrit.

3 - Présence d'éléments nutritifs et protecteurs

Bio-films, scories, ions de fer et de calcaire,
autres micro-organismes (présents en grandes
quantités dans nos installations)

4 - Pulvérisation de l'eau

avec formation de micro-gouttes ayant
des diamètres compris entre 1 et 5 microns
(inhalables par les poumons)

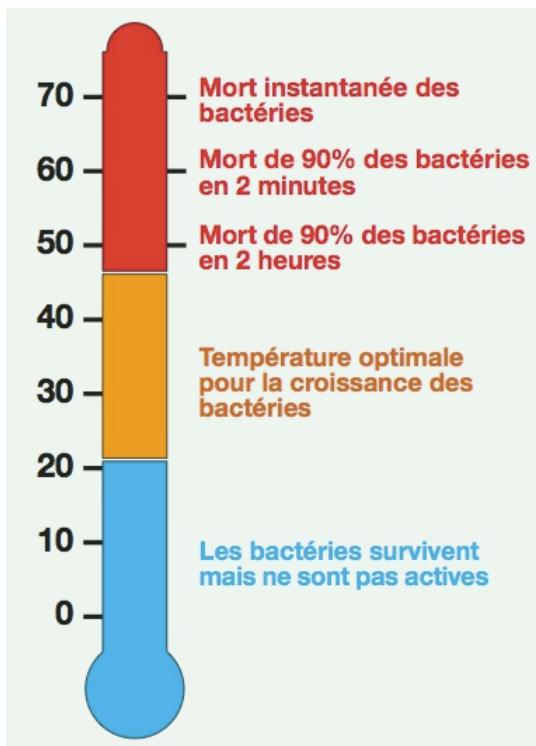
Les installations où il y a pulvérisation
d'eau dans l'air représentent un risque:
douches, tours de refroidissement, ...

5 - Niveau de contamination

dépend beaucoup de l'état de santé
de la personne

LEGIONELLOSE

Le Rôle Important de la Température



Ce graphique est désormais reconnu dans le monde comme point de référence fiable pour la **désinfection thermique** de la légionelle.

Dans la pratique, ce graphique nous garantie que **si l'eau est maintenue au dessus de 50°C, il n'y a aucun risque la légionelle se développe. Au contraire, son élimination se produit en quelques heures.**

Les Installations à Risque

Ce sont des installations où la température de l'eau est faible (20°C à 40°C) et où il y a projection ou vaporisation d'eau:

1. Tours de refroidissement et évapo-condenseurs;
2. Installations de conditionnement d'air;
3. Piscines, thermes et fontaines décoratives avec jets d'eau;
4. Installations de production et de distribution d'eau chaude sanitaire.

Les Principes de Prévention

- Eviter la stagnation (bras morts des réseaux).
- Garder en continu les systèmes à une $T^{\circ} > 55^{\circ}\text{C}$.
- Eliminer les zones tièdes dans les ballons de stockage.

ADOUCISSEUR

Rôle des Adoucisseurs

Les adoucisseurs sont des appareils destinés à retirer les éléments présents dans l'eau responsables de la formation du tartre.

Il s'agit principalement du Calcium (Ca^{2+}) et du Magnésium (Mg^{2+}).

Différentes méthodes existent pour arriver à ce résultat.

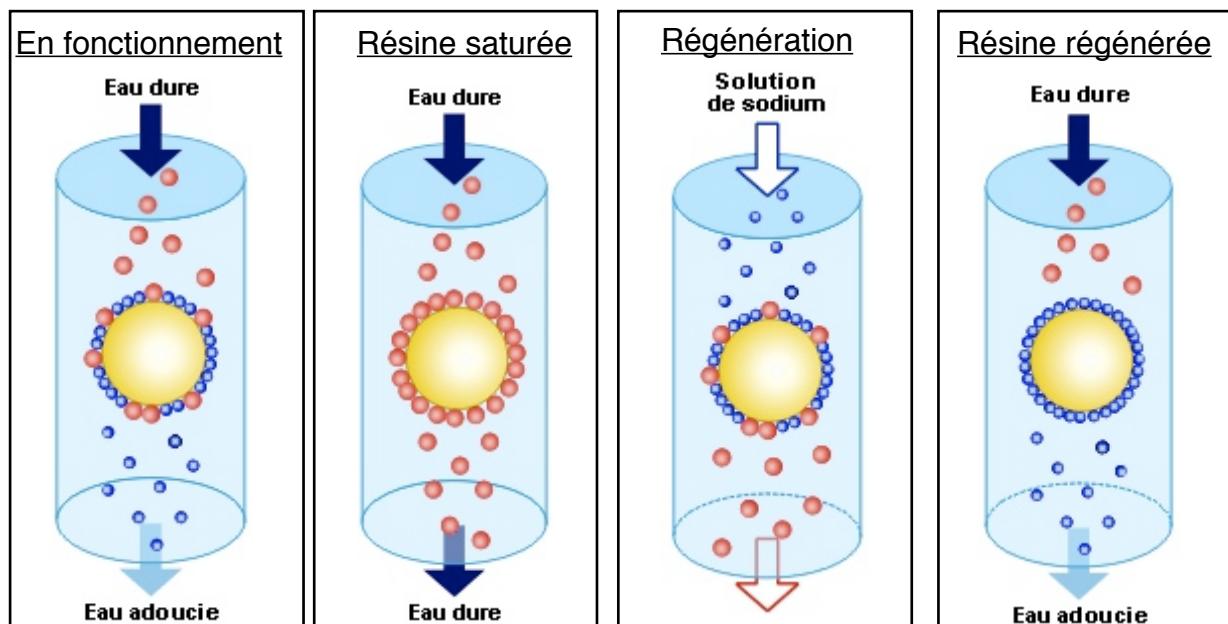
Nous allons voir ici le principe des **adoucisseurs à permutation sodique**.

La formation de tartre est fortement accentuée avec les températures chaudes. C'est pour cela qu'on trouve en général toujours un adoucisseur sur les circuits ECS, en particulier avec des ballons à accumulation. En l'absence d'adoucisseur, les ballons d'eau chaude s'entartreraient rapidement, ainsi que la résistance électrique lorsqu'il y a en a une.

Principe d'un Adoucisseur à Permutation Sodique

- Le principe consiste à faire circuler l'eau "dure" à travers un lit de résine.
- Au cours de cette traversée, les ions Ca^{2+} et Mg^{2+} de l'eau "dure" vont être piégés par la résine.
- En contre-partie, la résine va relâcher des ions sodium (**Na**) dans l'eau. Il y a donc échange d'ions.
- Lorsque la résine a relâchée tous les ions **Na** qu'elle contenait, elle devient complètement inefficace. Il faut alors la **régénérer** en faisant circuler de l'eau saturée en ion **Na** (**la "saumure"**):

● : ions calcium
○ : ions sodium



ADOUCISSEUR

Le Titre Hydrotimétrique (“TH”)

Le titre hydrotimétrique ou “TH” exprime la dureté d’une eau en mesurant la somme des sels de calcium et/ou de magnésium. A savoir que, à partir de 15°F, l’eau en France est considérée comme «dure».

L’unité de mesure de cette somme en France est le **degré français** ou «°F» :

1°F = 10 mg de carbonate de calcium (CaCO_3) par litre d'eau,

8,43 mg de carbonate de magnésium par litre d'eau.

1°F = 4 mg de calcium (Ca^{++}) par litre d'eau,

2,43 mg de magnésium (Mg^{++}) par litre d'eau.

Donc, plus le °F est élevé, plus «l'eau est dure».

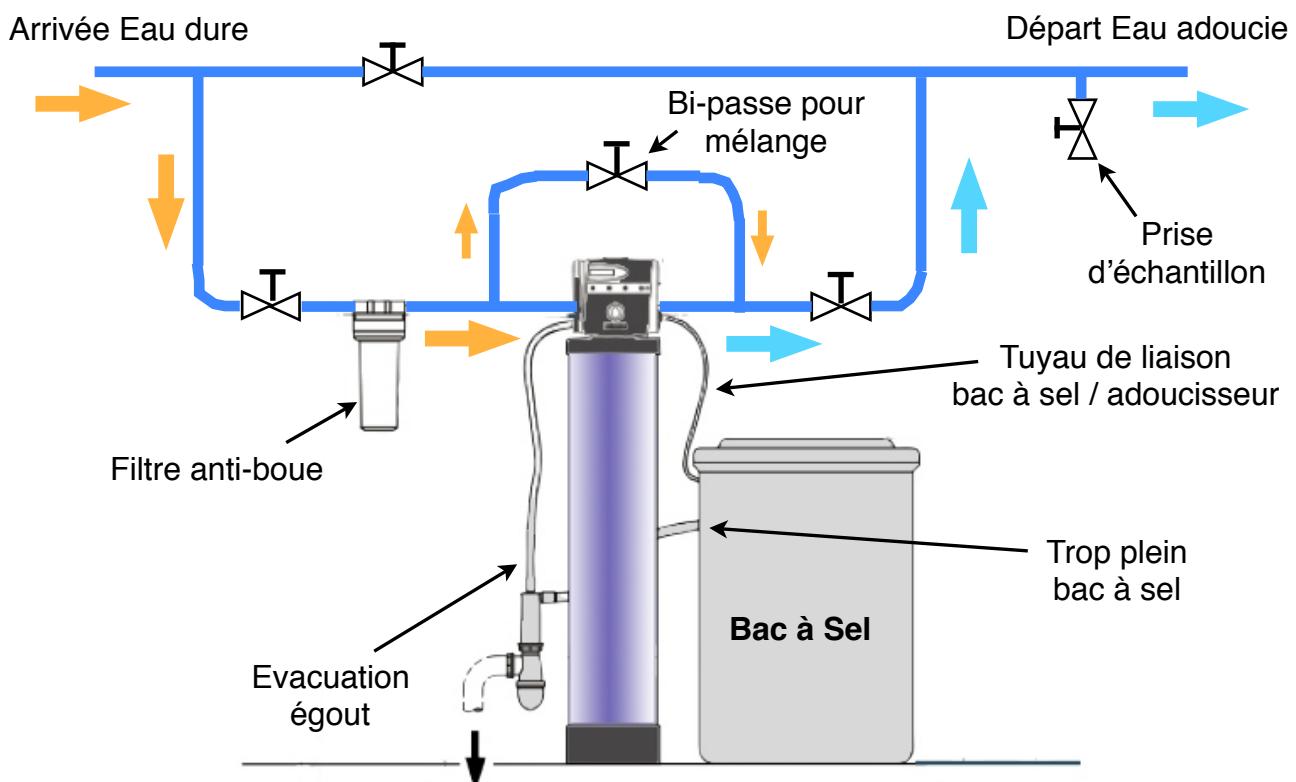
Dans certains pays, l’unité de mesure n'est pas toujours exprimée en degré français (°F). Voici les correspondances :

1°D (allemand) = 1,25°E (anglais) = 1,78°F (français).

1°E (anglais) = 0,8°D (allemand) = 1,43°F (français).

1°F (français) = 0,56°D (allemand) = 0,70°E (anglais).

Constitution d'un Circuit Adouisseur



ADOUCISSEUR

Filtre anti-boue: il élimine un maximum de particules en suspension dans l'eau avant qu'elles n'entrent dans l'adoucisseur et forment une croûte sur la résine.

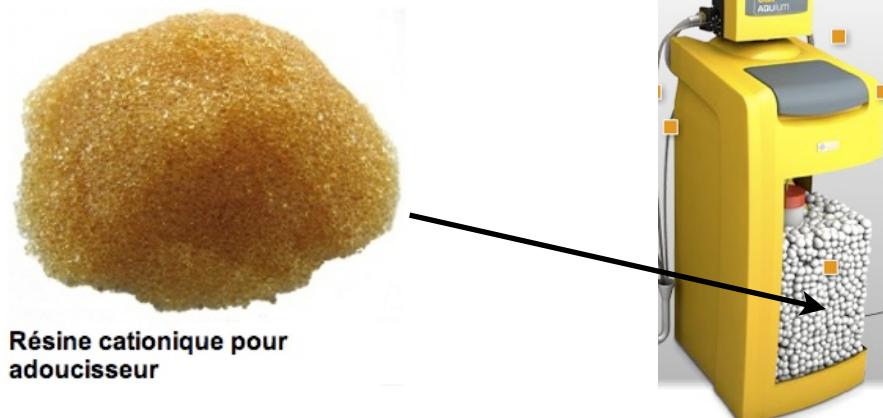
Bac à sel: C'est l'endroit où est créée la solution d'eau saturée en sodium (appelée "saumure"). C'est dans ce bac qu'on verse les pastilles de sel qui vont se dissoudre lentement dans l'eau pour créer la saumure.

Bi-passe de mélange: C'est un robinet de réglage qui permet d'injecter en sortie d'adoucisseur un peu d'eau dure.

Pourquoi?:

L'adoucisseur évite l'entartrage, mais il peut, si il génère une eau trop adoucie causer des désagréments matériels sur les installations sanitaires. **En effet, une eau complètement adoucie (0°F) est très agressive pour la tuyauterie.** C'est pour cela qu'il ne faut pas trop adoucir une eau. Il est recommandé de ne pas descendre en dessous de 10°F. On y arrive en mélangeant un peu d'eau dure avec l'eau complètement adoucie sortant de l'adoucisseur.

Adoucisseur: C'est le récipient contenant la résine.



Il existe 2 types d'adoucisseurs. Ceux avec bac à sel séparé et ceux à bac intégré:



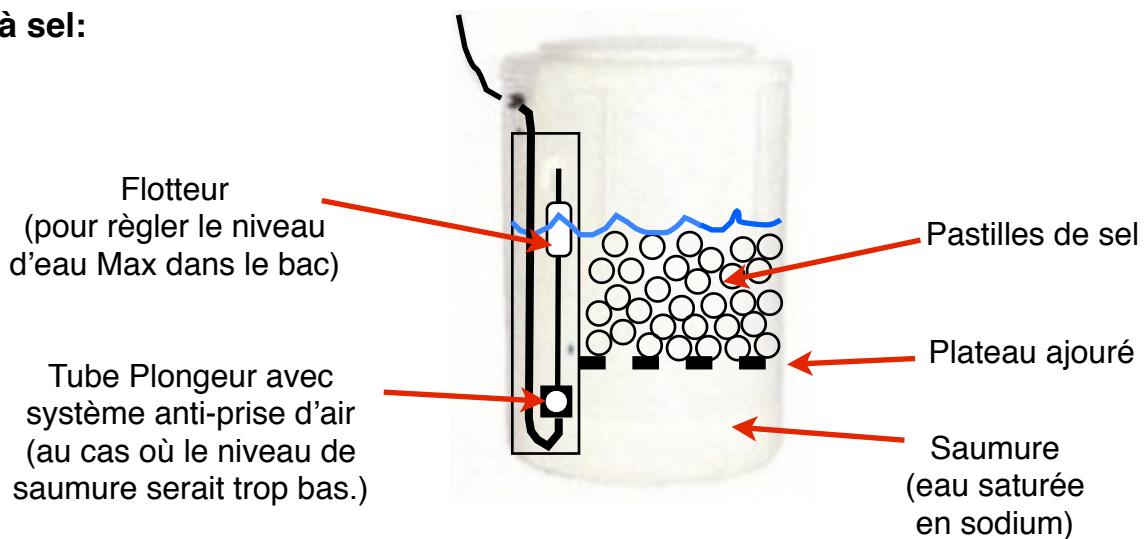
Adoucisseur avec bac à sel séparé



Adoucisseurs avec bac à sel intégré

ADOUCISSEUR

Bac à sel:



Pastilles de sel: Ce sont des pastilles dures et assez grosses. Leur forme et leur consistance leur permet de se dissoudre lentement, de ne pas se tasser et **surtout de ne pas former une croûte de sel dans le bac:**



Vannes de service: Elles permettent d'isoler l'adoucisseur si nécessaire (maintenance) tout en ne coupant pas l'eau. Mais pendant tout ce temps, ce sera de l'eau dure qui sera envoyée dans l'installation.

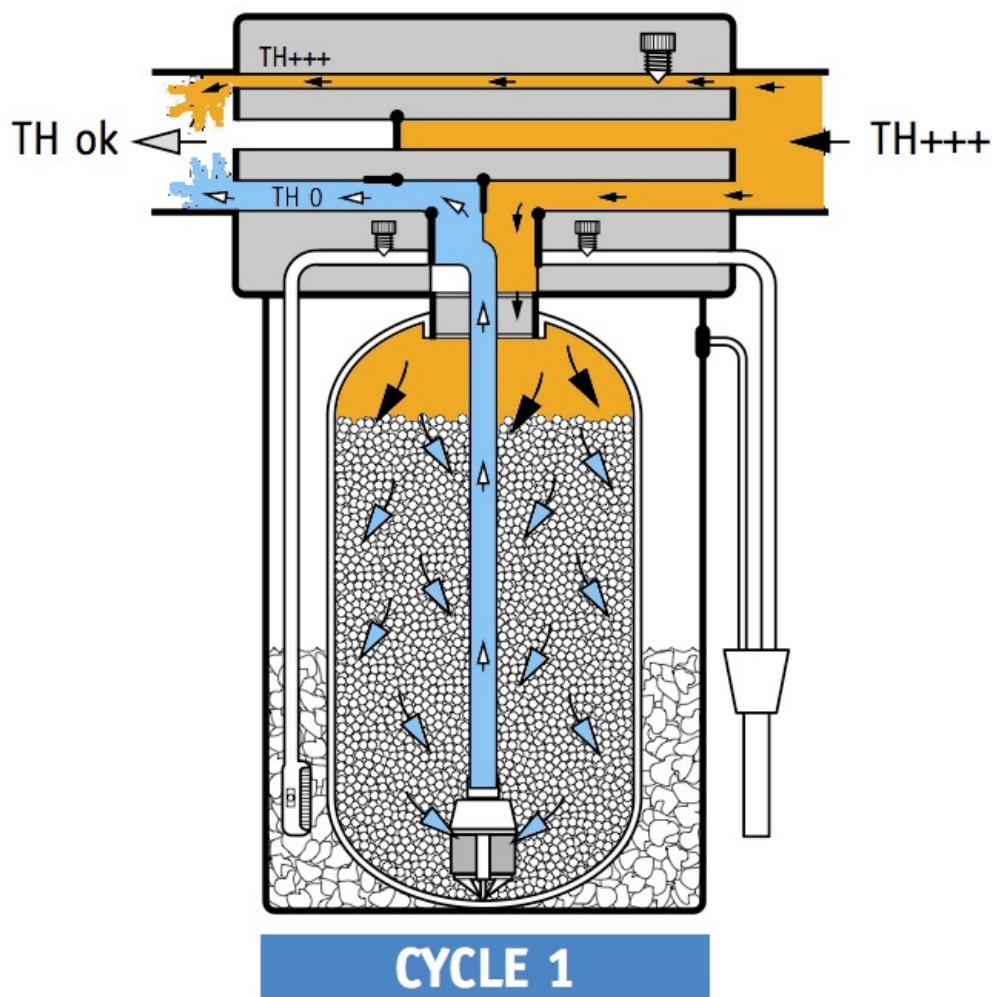
ADOUCISSEUR

Les Cycles de Régénération

Lorsque la résine est saturée, elle est devient inerte et ne travaille plus. Il faut alors la régénérer. Un adoucisseur dispose d'un coffret de contrôle (généralement programmable) qui se charge d'automatiser cette régénération.

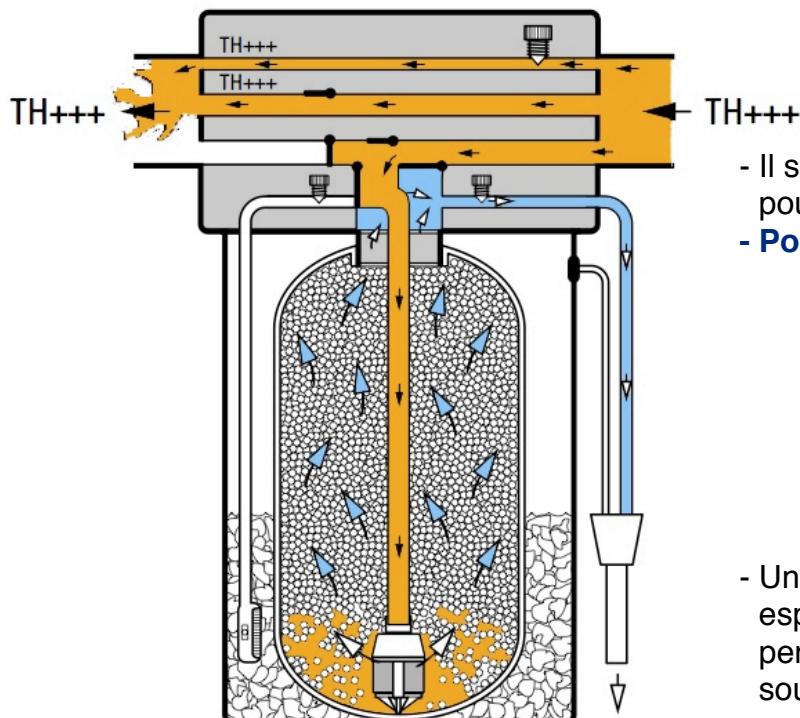
Un adoucisseur régénère selon un nombre de cycles précis et selon un ordre généralement identique.

Voici en détail le fonctionnement de ces cycles:



Adoucisseur en fonctionnement normal

ADOUCISSEUR



CYCLE 2

Détassage:

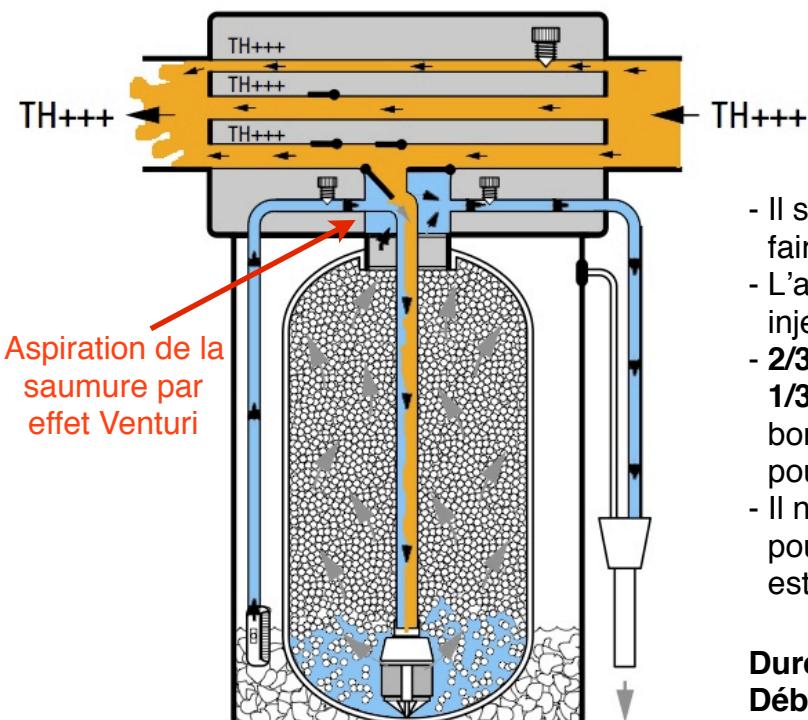
- Il s'agit d'un lavage à contre-courant pour soulever la résine.

Pourquoi?

- La résine est soumise à la pression d'eau du réseau (3 bar) ce qui provoque son **tassement** avec le temps.
- Avec le tassement se créent des **passages préférentiels** à travers la résine. Certaines zones ne sont plus irriguées.
- Un bon adoucisseur dispose d'un espace libre de 30% afin de permettre à la résine de bien se soulever et d'être brassée.

Durée: 2 à 10 minutes

Débit: 10 à 20 l/h / litre de résine



CYCLE 3

Saumurage:

- Il s'agit d'aspirer la saumure et de la faire percoler sur le lit de résine.

- L'aspiration se fait via un hydro-injecteur (**effet Venturi**).

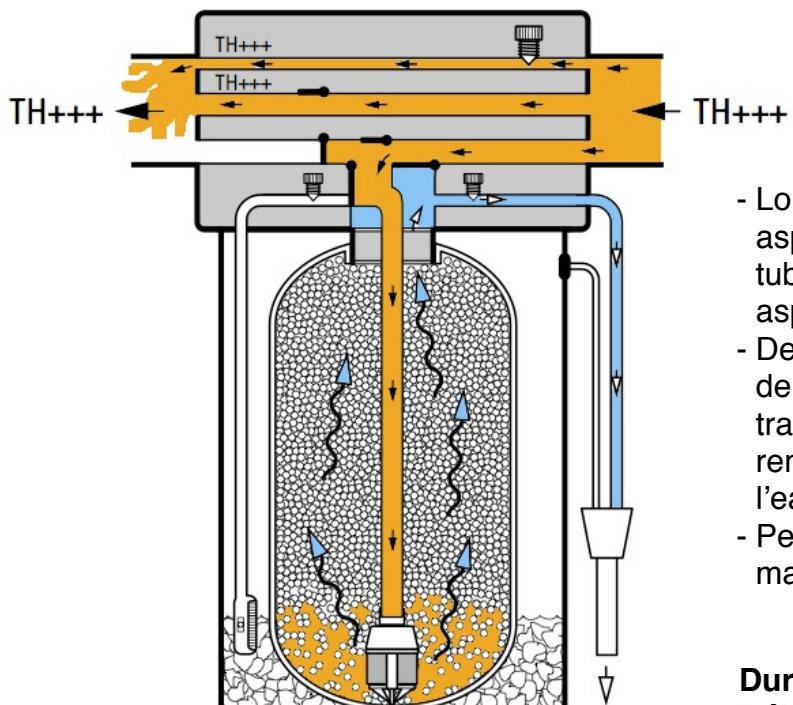
- **2/3** d'eau brute est ainsi mélangée à **1/3** de saumure. Ce qui donne la bonne concentration de saumure pour régénérer la résine.

- Il n'y a donc pas besoin de pompe pour aspirer la saumure. L'aspiration est 100% hydraulique.

Durée: 5 à 40 minutes

Débit: 2 à 10 l/h / litre de résine

ADOUCISSEUR



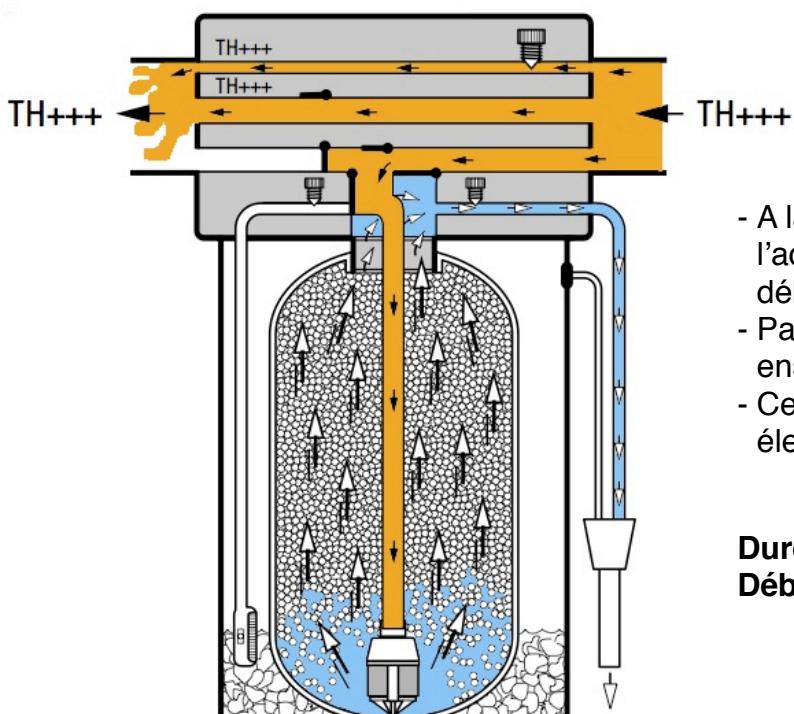
CYCLE 4

Rinçage Lent:

- Lorsque la toute la saumure a été aspirée du bac, une bille ferme le tube d'aspiration afin de ne pas aspirer de l'air.
- De l'eau pure continue à circuler afin de rincer la résine et éliminer toute trace de saumure (autrement, à la remise en service de l'adoucisseur, l'eau aurait un goût salé).
- Pendant ce cycle, le débit est faible mais dure longtemps.

Durée: 10 à 50 minutes

Débit: 2 à 10 l/h / litre de résine



CYCLE 5

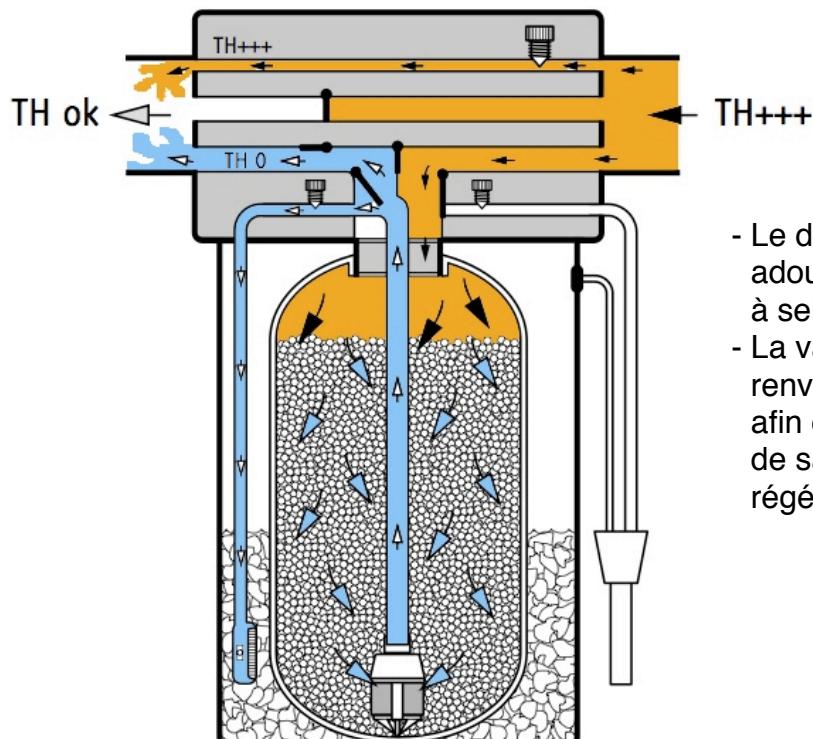
Rinçage Rapide:

- A la sortie du cycle de rinçage lent de l'adoucisseur, les résines sont déjà débarrassées de l'excès de chlorure.
- Par mesure de sécurité on assure ensuite un rinçage dit rapide.
- Ce cycle est court, mais le débit est élevé.

Durée: 2 à 15 minutes

Débit: 10 à 20 l/h / litre de résine

ADOUCISSEUR



Remplissage Bac à saumure:

- Le dernier cycle de régénération d'un adoucisseur consiste à remplir le bac à sel de nouveau.
- La vanne de l'adoucisseur va renvoyer le volume d'eau nécessaire afin de préparer le volume nécessaire de saumure pur la prochaine régénération.

CYCLE 7

Les Problèmes Pouvant Survenir

- Coffret de Contrôle en panne:

Dans ce cas, les cycles de régénération ne se font plus. La résine reste saturée et l'eau en sortie d'adoucisseur est dure. (analyser la dureté de l'eau en sortie pour confirmer).

- Débordement du Bac à Sel:

Le débordement du bac à sel est dans la plupart des cas dû non pas à un renvoi trop important d'eau au moment du remplissage mais à **une aspiration qui ne se fait pas**. Car si l'aspiration (2^{ème} cycle de régénération de l'adoucisseur) ne se fait pas, le remplissage va remplir un bac à sel déjà partiellement rempli. Au bout de la 3^{ème} ou 4^{ème} régénération de l'adoucisseur, le bac à sel de l'adoucisseur débordera. Il est donc très important que l'aspiration se fasse bien. En effet si la ligne d'aspiration de l'adoucisseur n'est pas étanche à l'air, l'effet venturi privilégiera l'air à l'eau et l'aspiration ne se fera pas. Il est donc essentiel que **la ligne d'aspiration de l'adoucisseur soit totalement étanche à l'air**.

Chaque adoucisseur est donc taré afin de renvoyer un volume d'eau toujours identique vers le bac à sel.

ADOUCISSEUR

Modes de Déclenchement des Régénérations

Les régénérations peuvent être déclenchées soient:

- **Manuellement** par l'opérateur:

- au vue des résultats des analyses par exemple

- **Automatiquement**:

- Sur une base de temps (régénération toutes les "x" heures ou jours)
- Sur une base de volume (un compteur de volume d'eau déclenche la régénération)
- Sur une base de qualité (déclenchement de la régénération dès que la dureté de l'eau dépasse un certain seuil).

Caractéristiques d'un Adoucisseur

Taux de Régénération:

Il fixe la quantité de sel à utiliser par litre de résine (soit en **masse**, soit en **°f / litre de résine**).

Le taux de régénération est généralement de:

- **100 g / litre de résine** avec pouvoir d'échange de **4 °f.m³ / litre de résine**
- **210 g / litre de résine** avec pouvoir d'échange de **6 °f.m³ / litre de résine**

Pouvoir d'Echange:

Il représente la quantité d'ions Ca et Mg que peut fixer 1 litre de résine.

Il s'exprime en degré français et m³ d'eau par litre de résine (**°f.m³ / litre résine**)

Le pouvoir d'échange des résines est généralement compris entre:

4 à 6 °f.m³ / litre de résine

Rendement de Génération:

C'est le rapport:

pouvoir d'échange
taux de régénération

ADOUCISSEUR

Le Cycle:

Il fixe la quantité d'eau traitée entre 2 régénérations.

Le cycle dépend donc de la dureté de l'eau à traiter: plus l'eau est dure et plus le cycle est cours (régénérations fréquentes):

$$\text{Cycle} = \frac{\text{volume de résine litre} \times \text{P.E. (}^{\circ}\text{f} \times \text{m}^3\text{/litre de résine)}}{\text{TH}}$$

Exemples de Calculs

- 1) Quel est le cycle d'un adoucisseur ayant un volume de résine de 1000 litres et traitant une eau de TH = 45°f ?

$$\text{Cycle} = (1000 \text{ litres} \times 6 \text{ }^{\circ}\text{f.m}^3/\text{l}) / (45 \text{ }^{\circ}\text{f}) = 133 \text{ m}^3$$

- 2) Capacité d'un adoucisseur en régime normal:

- Hypothèses:
- Eau brute: TH = 26 °f
 - Volume de résine: 2500 litres
 - Pouvoir d'échange: 6 °f.m³/l
 - Quantité de sel nécessaire par litre de résine: 200 g

$$\text{Cycle entre 2 régénération: } (2500 \times 6) / (26) = 577 \text{ m}^3$$

$$\text{Quantité de sel utilisée pour une régénération: } 200 \times 2500 = 500 \text{ kg}$$

- 3) Capacité d'un adoucisseur en régime économique:

- Hypothèses:
- Eau brute: TH = 26 °f
 - Volume de résine: 2500 litres
 - Pouvoir d'échange: 4,5 °f.m³/l
 - Quantité de sel nécessaire par litre de résine: 100 g

$$\text{Cycle entre 2 régénération: } (2500 \times 4,5) / (26) = 432 \text{ m}^3$$

$$\text{Quantité de sel utilisée pour une régénération: } 100 \times 2500 = 250 \text{ kg}$$

CIRCUITS ECS

Les 3 Modes de Production d'Eau Chaude Sanitaire (ECS)

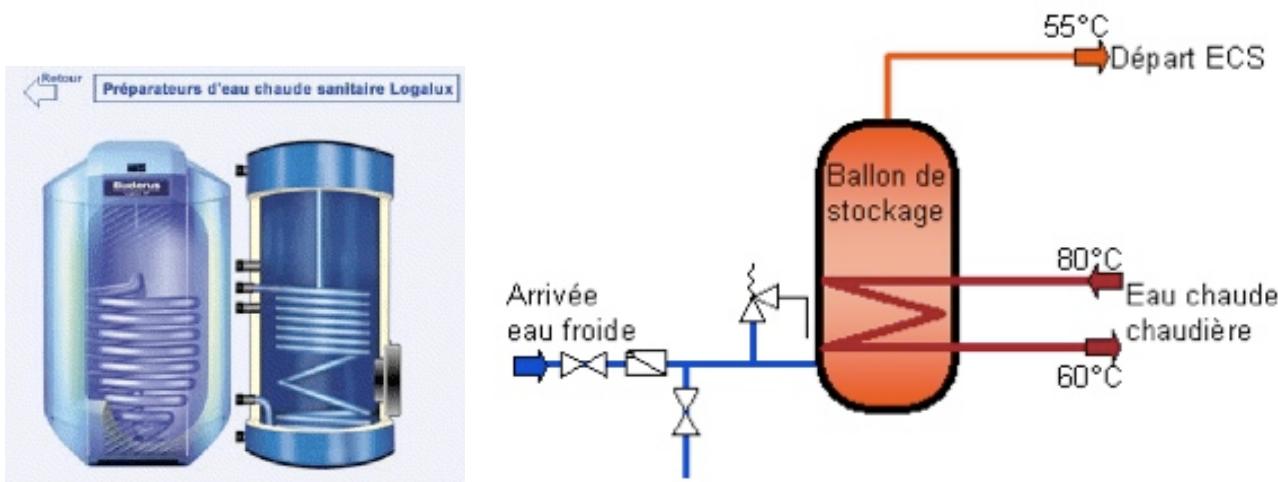
1) Production par accumulation

L'eau chaude sanitaire est produite lentement et stockée dans un ballon. Ce type de production pourra convenir pour des utilisations irrégulières sur la journée laissant entre 2 créneaux de demande le temps de « recharger » le stockage.

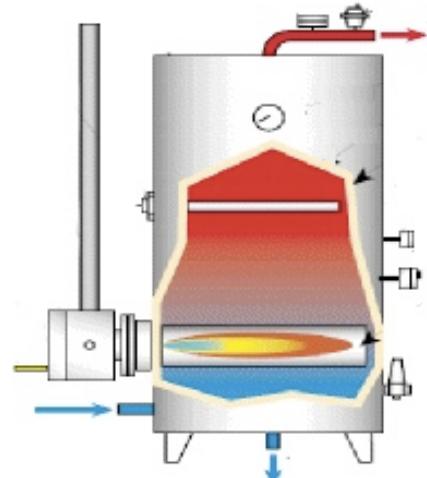
Le système de production d'ECS est dit « à accumulation totale » lorsqu'il dispose d'une réserve d'eau chaude correspondante aux besoins journaliers.

Une résistance chauffante électrique ou un échangeur tubulaire alimenté en eau chaude à partir d'une chaudière permet en quelques heures la mise en température du volume d'eau stocké.

L'installation devra comporter une soupape de sécurité, un dispositif anti retour, un robinet d'arrêt et un robinet de vidange : l'ensemble constitue **un groupe de sécurité**.

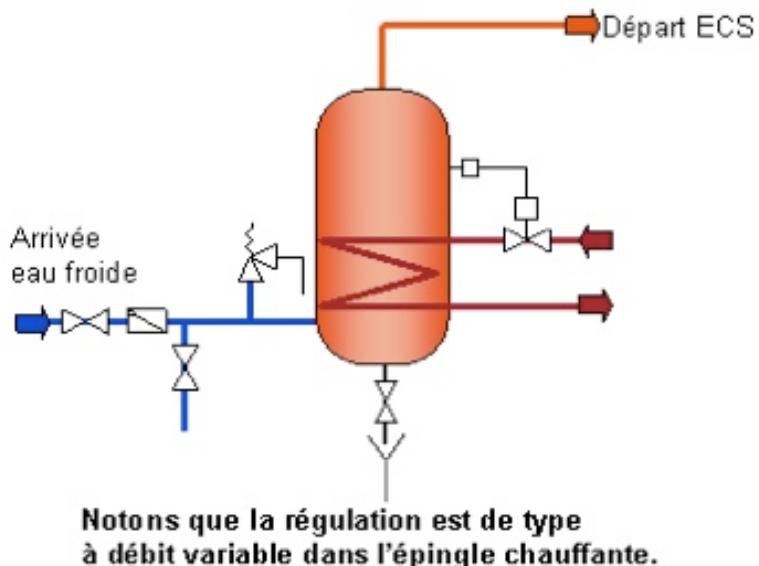


L'eau peut également être réchauffée par un **brûleur**:



CIRCUITS ECS

Principe de régulation:



Le dispositif de régulation peut être très simple :

- 1 Aquastat de pilotage d'une résistance chauffante, ou
- 2 Vanne 2 voies thermostatique (voir schéma), ou
- 3 Aquastat de pilotage d'une pompe primaire

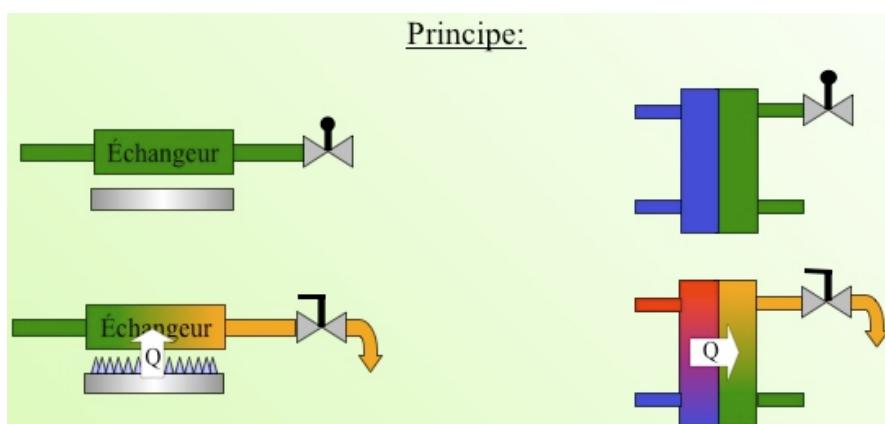
2) Production instantanée

L'eau chaude sanitaire est produite au fur et à mesure de la demande.

L'eau chaude n'est donc produite qu'au moment du puisage.

Ce type de production pourra convenir à 2 situations totalement opposées :

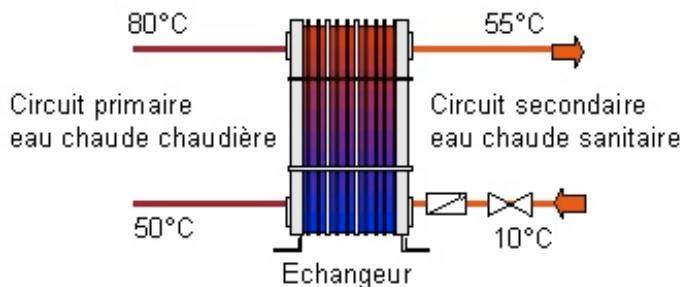
- 1 Utilisations régulières ne présentant pas de périodes creuses permettant la recharge d'un stockage.
- 2 Utilisations épisodiques et de faible amplitude dans le cas d'une production électrique.



CIRCUITS ECS

Une résistance chauffante électrique ou un échangeur à plaque alimenté en eau chaude à partir d'une chaudière permet la mise en température immédiate de l'eau chaude soutirée. **La puissance de production doit être importante.** De ce fait, les productions instantanées électriques sont limitées à l'alimentation d'un seul appareil tel qu'un lavabo ou une douche à faible débit.

A partir d'une chaudière à eau chaude, la production est assurée par l'intermédiaire d'un échangeur à plaque

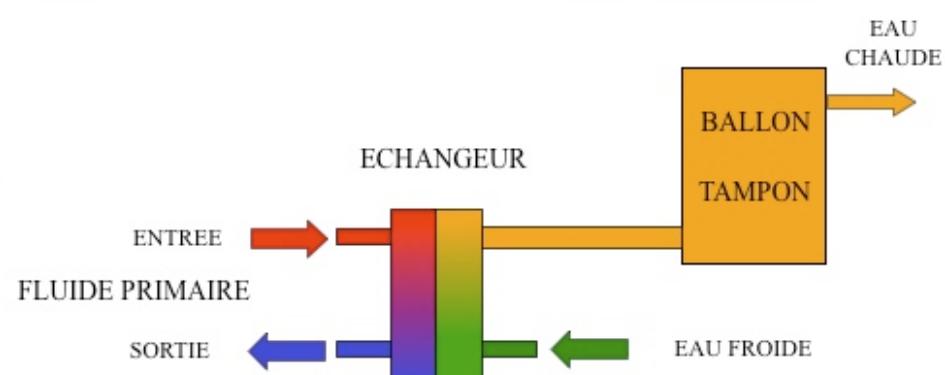


3) Production semi-instantanée

Le système est intermédiaire entre les 2 précédents. Il permet de diminuer la taille du ballon ou la puissance de production nécessaire.

Dans ce type de production, l'eau chaude sanitaire est produite instantanément et stockée dans un ballon tampon dont le dimensionnement lui permet d'assurer un débit de pointe de consommation de 10 minutes (Qm).

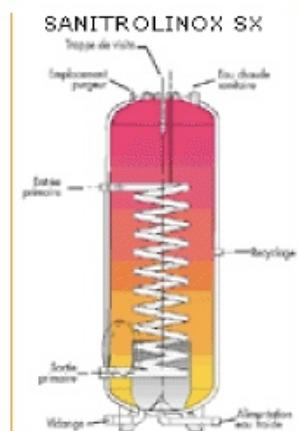
Principe:



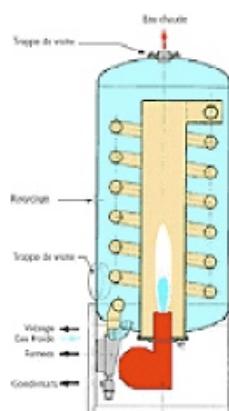
CIRCUITS ECS

Ce type de production convient pour toute utilisation irrégulière sur la journée.

La frontière entre dispositifs dits à accumulation, instantanés et semi instantanés n'est pas rigoureuse. Des systèmes présentant un faible stockage et une grande résistance de chauffe sont parfois signalés comme de types instantanés ou de types semi instantanés.

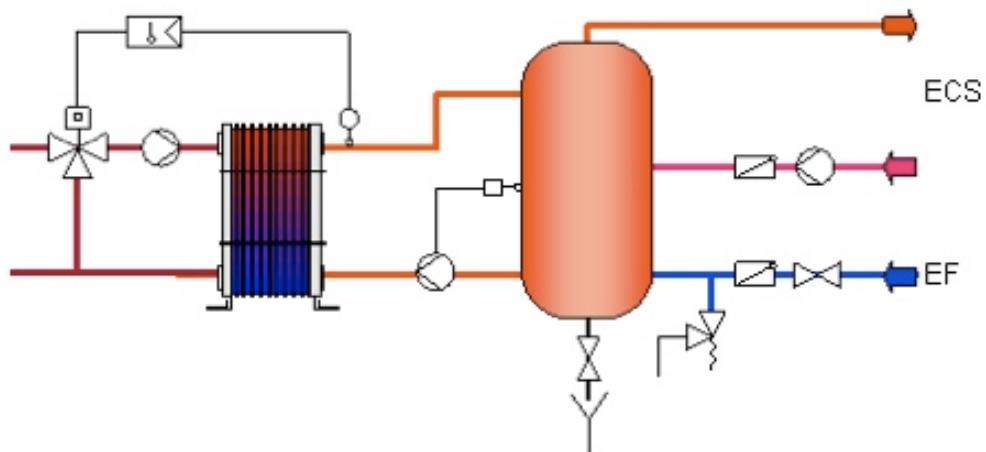


Système semi-instantané



Système semi-Instantané

Principe de régulation:



Le dispositif de régulation doit être de bonne qualité

- 1 Sonde de contrôle de la température du stockage avec action sur V2V ou V3V rapide de type magnétique.
- 2 Aquastat de sécurité : arrêt de la circulation entre le ballon et l'échangeur en cas de surchauffe anormale.

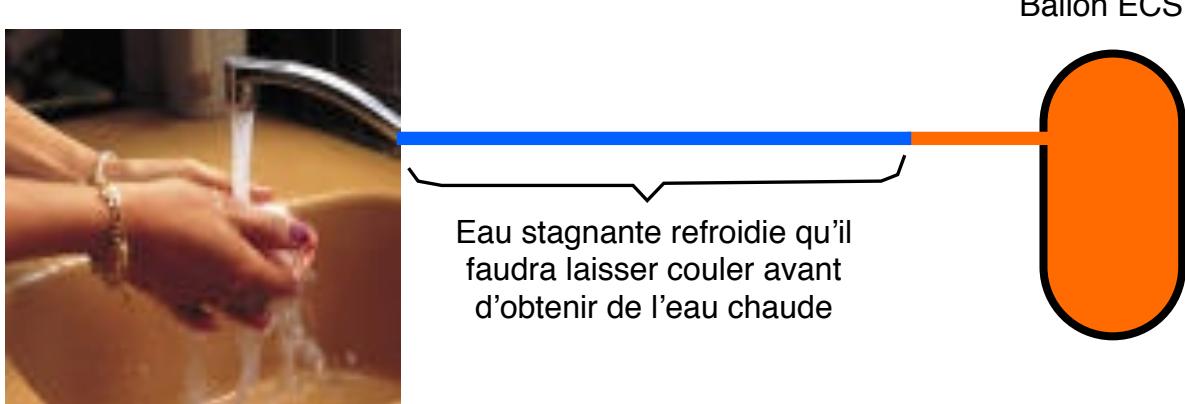
CIRCUITS ECS

Recyclage et Bouclage de l'ECS

Quel est le problème?

Entre 2 puisages, l'eau chaude stagne dans les tuyauteries et se refroidie. Si elle s'est fortement refroidie, lors de la prochaine ouverture de robinet d'eau chaude, on aura d'abord de l'eau froide qui arrivera avant d'avoir de l'eau chaude.

Cela veut dire que l'utilisateur devra attendre et laisser couler l'eau un certain moment avant d'avoir de l'eau chaude ↳ **Gaspillage d'eau**.

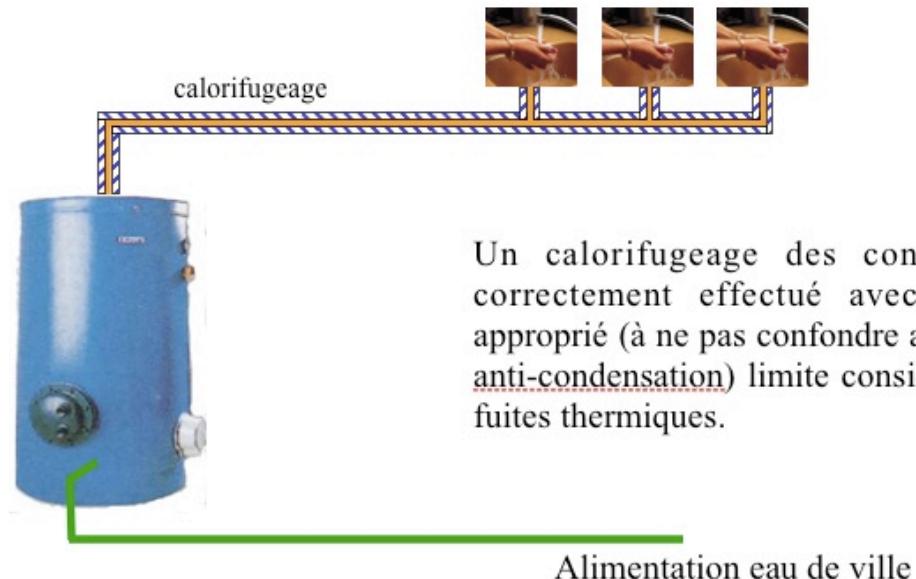


Causes possibles du problème et solutions:

- un **défaut d'isolation** de la conduite d'eau chaude sanitaire,
 ↳ Solution: Calorifuger les canalisations ou traçage au ruban chauffant
- un **surdimensionnement** de la conduite d'eau chaude sanitaire par rapport au débit des points de puisage,
- une **distance élevée** entre les points de puisage et le stockage.
 ↳ Solution: Eviter la stagnation de l'eau dans les tuyauterie.
 Prévoir une pompe de recyclage et une pompe de bouclage

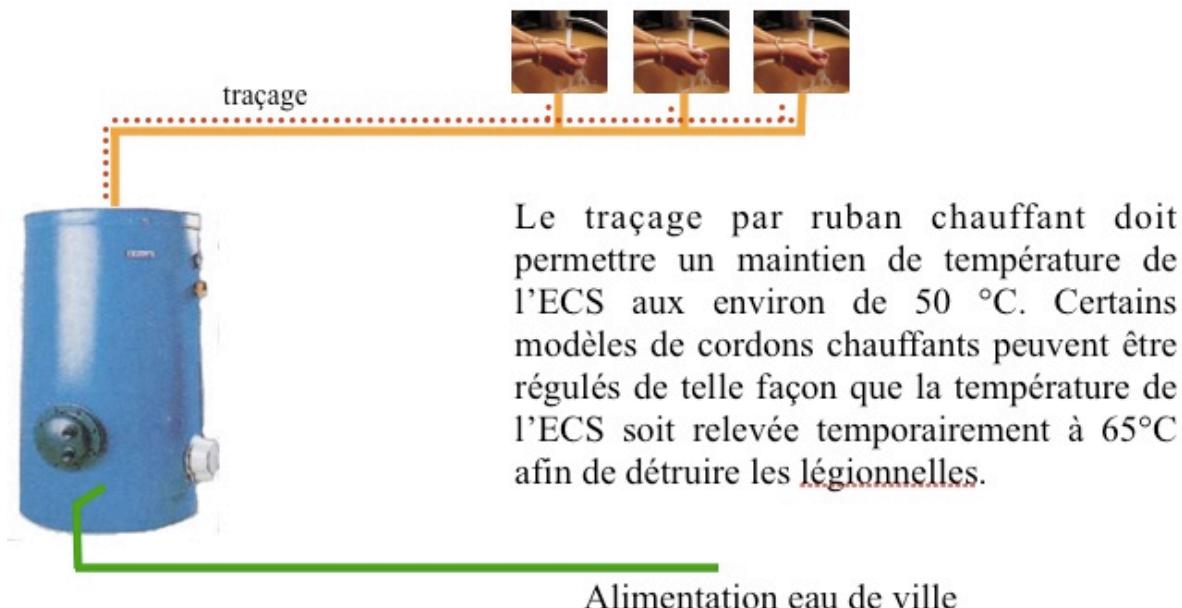
CIRCUITS ECS

Calorifugeage:



Un calorifugeage des conduites d'ECS correctement effectué avec un matériau approprié (à ne pas confondre avec les isolants anti-condensation) limite considérablement les fuites thermiques.

Traçage par ruban chauffant:

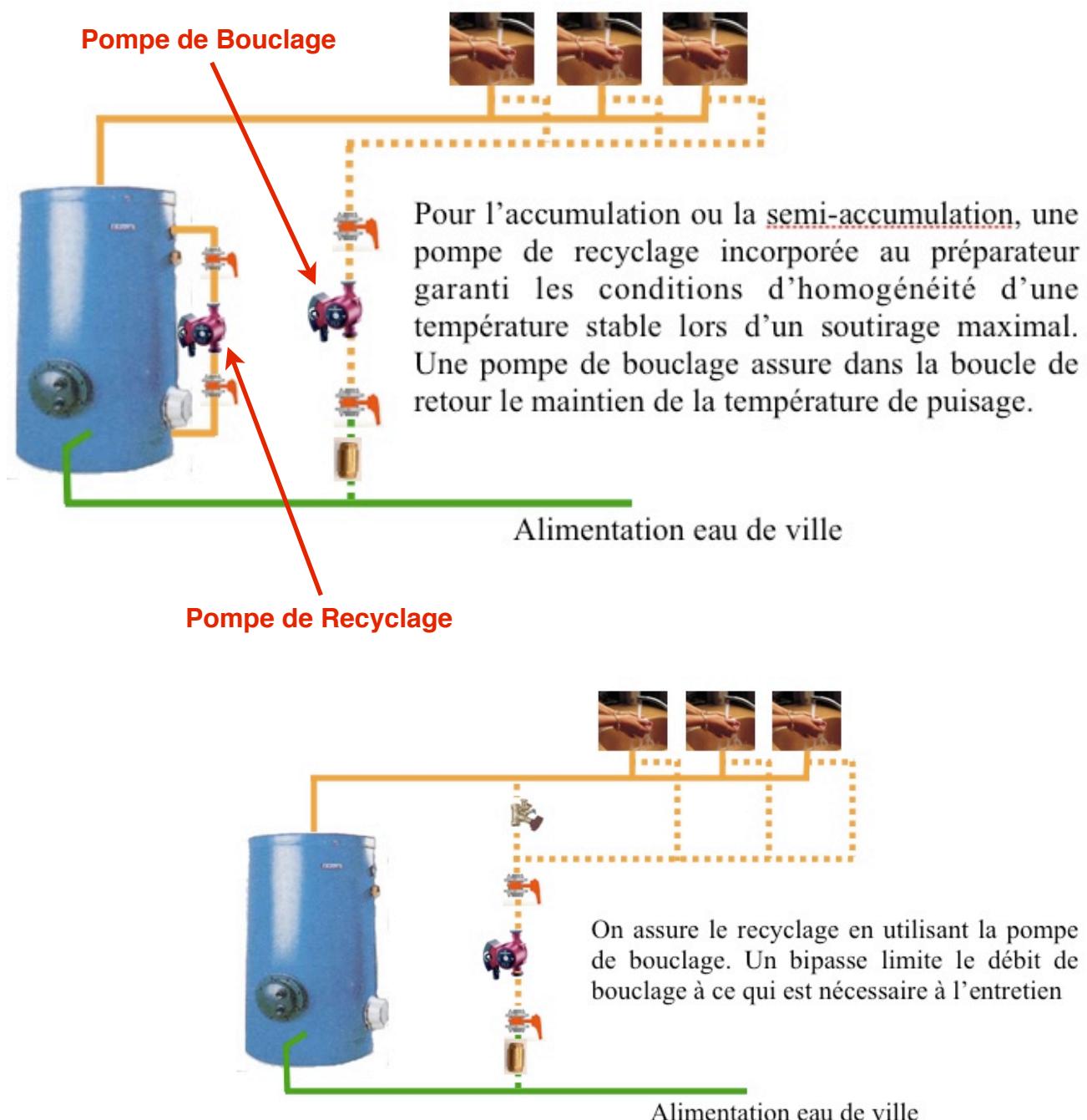


Le traçage par ruban chauffant doit permettre un maintien de température de l'ECS aux environs de 50 °C. Certains modèles de cordons chauffants peuvent être réglés de telle façon que la température de l'ECS soit relevée temporairement à 65°C afin de détruire les légionnelles.

CIRCUITS ECS

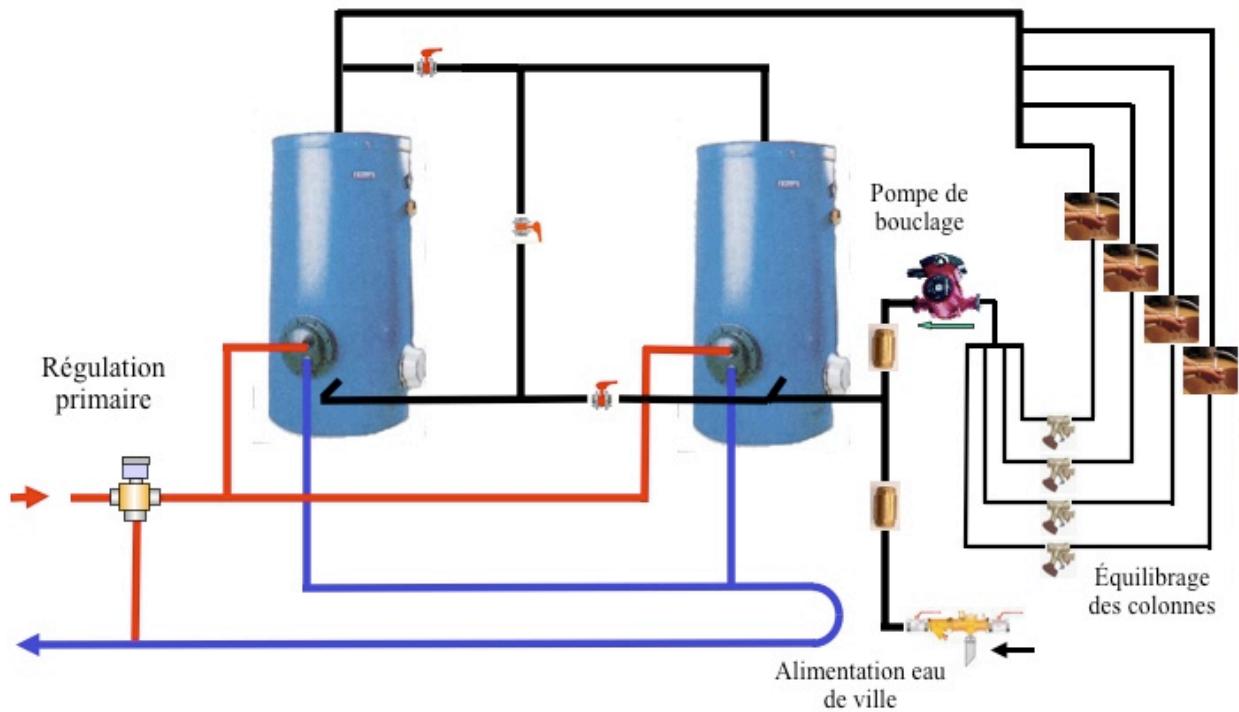
Recyclage et Bouclage:

- Le **recyclage** consiste à faire circuler l'eau dans le ballon ECS afin d'homogénéiser la température à l'intérieur et ne pas avoir de zone froide en bas du ballon.
- Le **bouclage** consiste à créer un réseau de distribution parallèle afin de faire circuler l'eau dans l'installation en la faisant revenir au ballon. De cette façon, l'eau ne stagne pas dans la tuyauterie et sa température est toujours correcte.

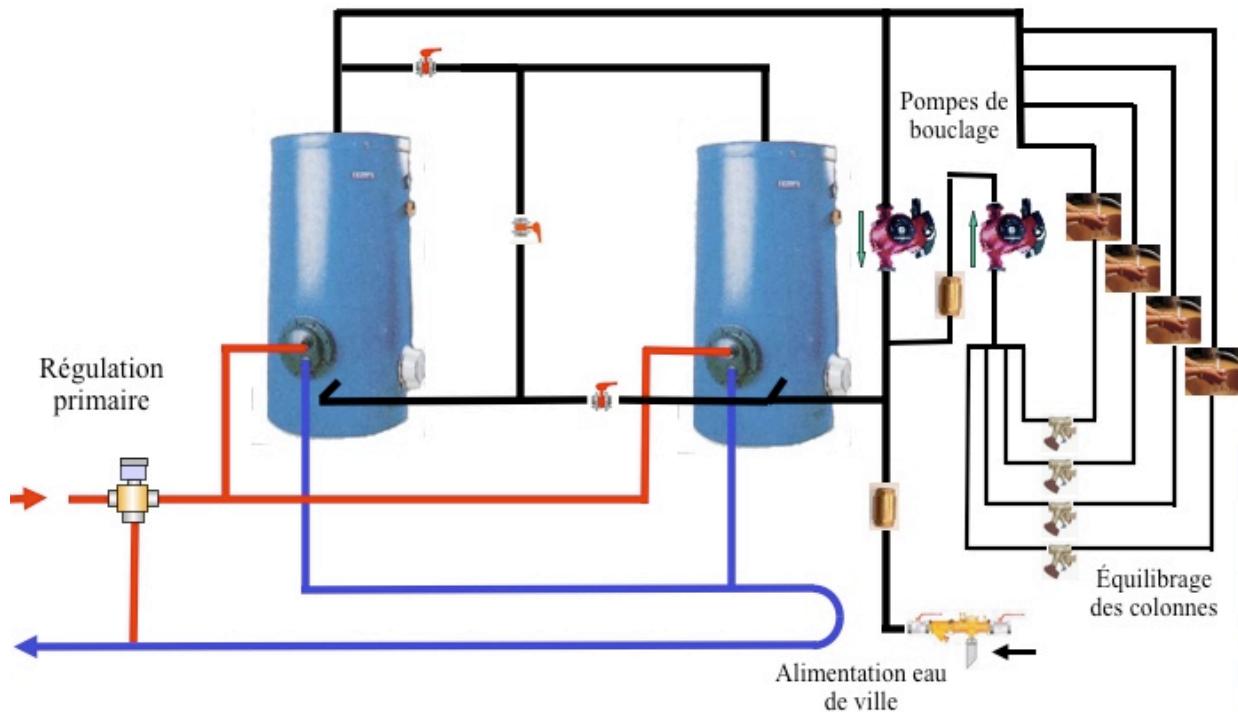


CIRCUITS ECS

Variante: Recyclage et Bouclage assurés par une seule pompe:



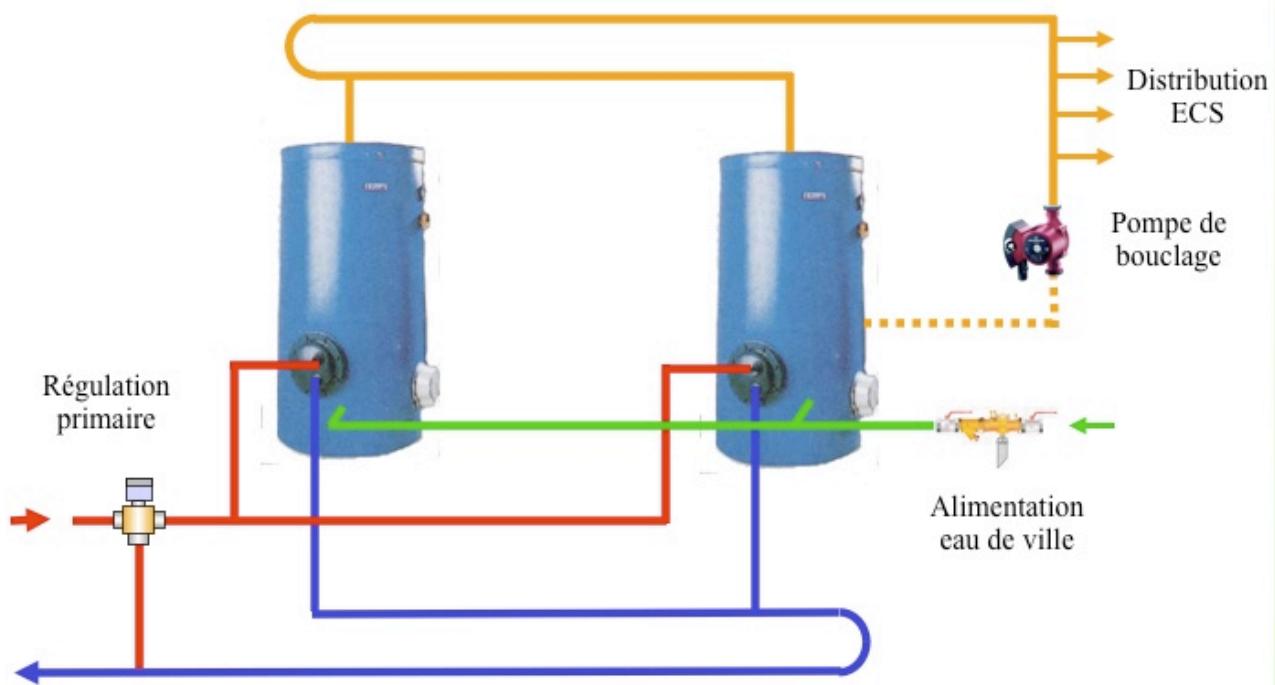
Recyclage assuré par pompe incorporée et bouclage classique:



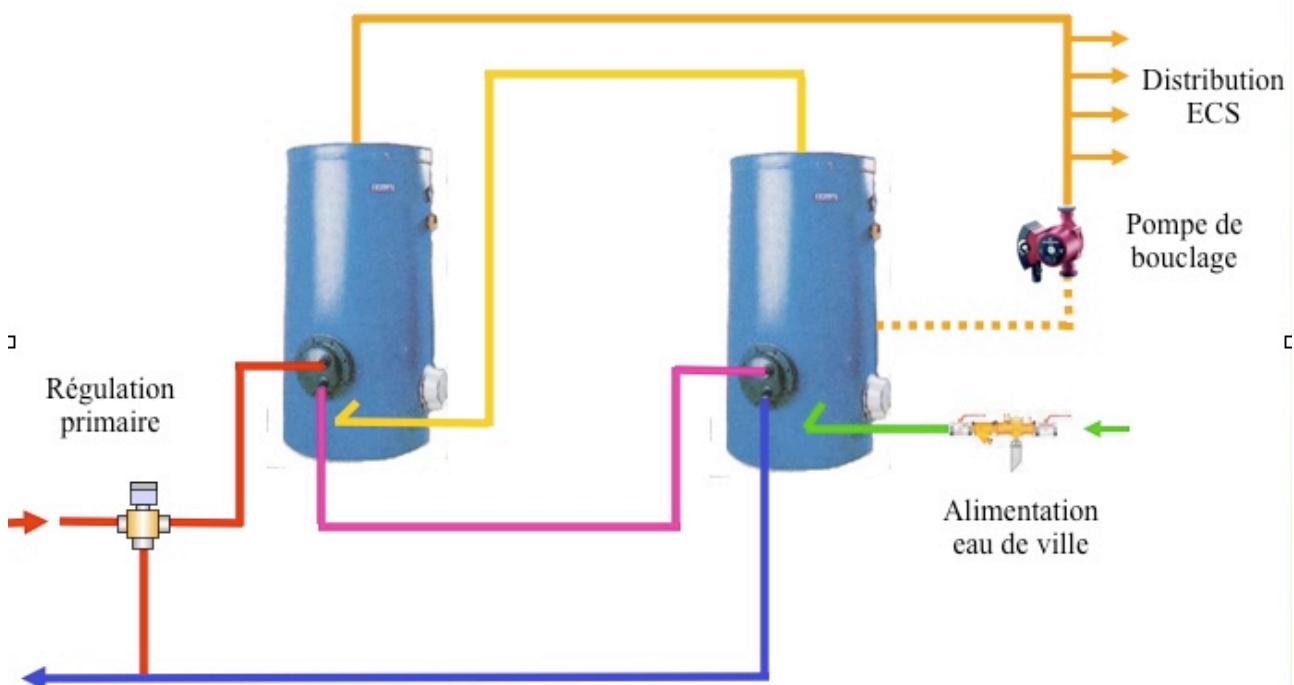
CIRCUITS ECS

Montages des Ballons à Accumulation

1) Montage parallèle:

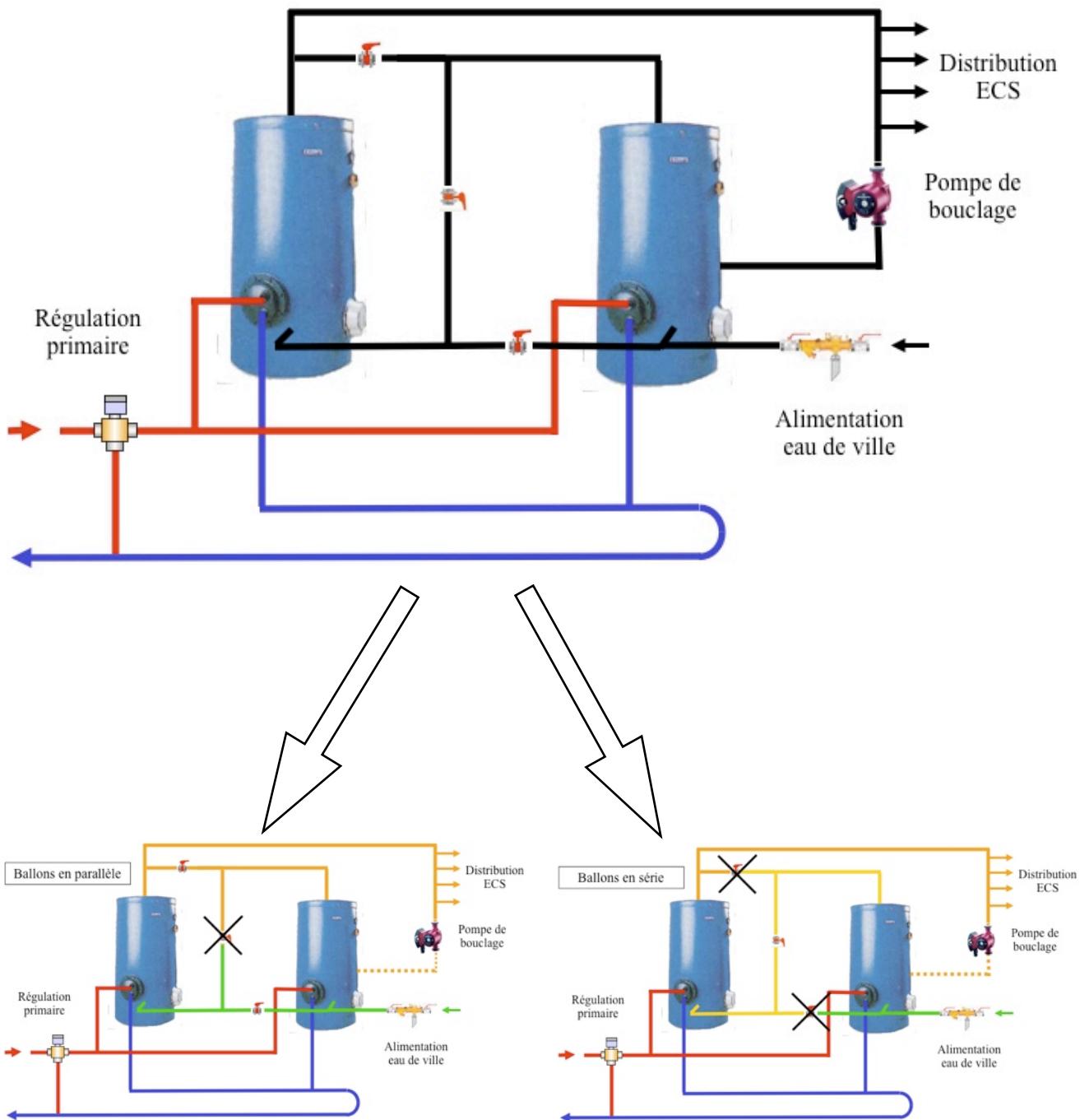


2) Montage en série-série:



CIRCUITS ECS

3) Montage mixte:



TOURS DE REFROIDISSEMENT

Principe de fonctionnement

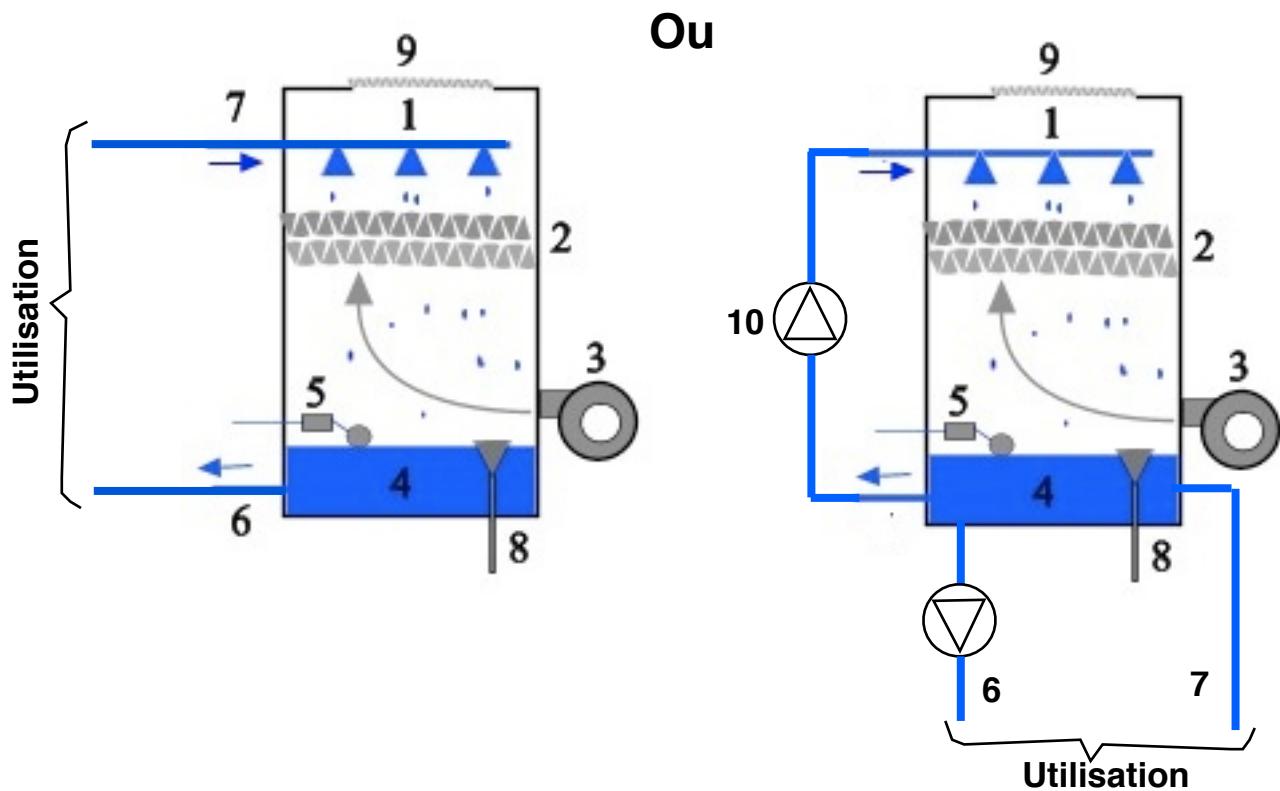
Il existe 2 types de tour: **ouverte** (interdite aujourd'hui pour cause de risque légionéloose) et **fermée**.

1) Tour ouverte

La tour ouverte :

Dans une tour ouverte l'eau provenant du condenseur est répartie par des buses réparties en fines gouttelettes à travers une surface de ruissellement , un ventilateur souffle de l'air à contre-courant assurant ainsi le refroidissement par évaporation d'une partie de cette eau.L'eau est ensuite recueillie dans un bac en partie basse puis réinjectée par une pompe à travers le condenseur,un système de remplissage par flotteur remplace l'eau évaporée, des résistances sont incorporées dans le bac commandées par un thermostat antigel.

Le défaut majeur de ce type de tour est l'entretien ,calcaire,algue,corrosion et bien sur légionellose sont des risques à prendre en compte.



TOURS DE REFROIDISSEMENT

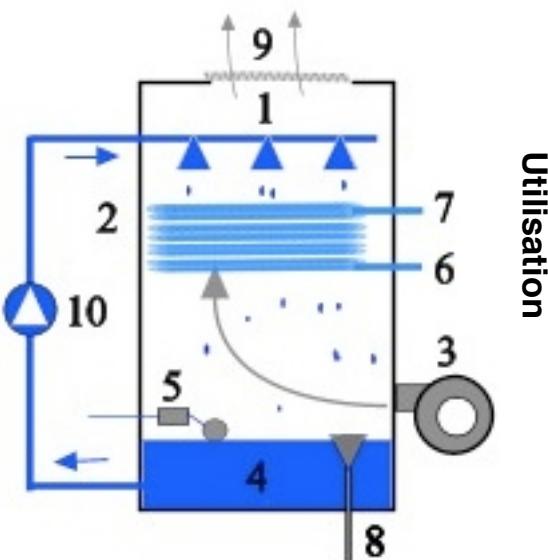
Legende:

- 1:Rampe +buses
- 2:Echangeur ou surface de ruissellement
- 3:Ventilateur
- 4:Bac
- 5:Remplissage
- 6:Sortie
- 7:Entrée
- 8:Trop plein
- 9:Sortie d'air
- 10:Pompe de circulation

2) Tour fermée

La tour fermée:

Elle fonctionne selon le même principe, mais au lieu d'avoir l'eau du condenseur directement à refroidir c'est un échangeur qui remplace la surface de ruissellement ou circule l'eau du condenseur .Un bac contient la quantité d'eau nécessaire au refroidissement de l'échangeur celle ci ruissele sur les tubes de cet échangeur pompé et distribuée par des buses en partie haute de la tour.



Avantage: moins d'eau en circulation côté tour donc traitement facilité, développement microbien réduit.

L'efficacité des tours dépend directement du taux d'humidité de l'air:

- Si l'air est chaud (28°C) mais sec, alors l'évaporation sera maximum et on peut obtenir une eau à une T° inférieure à l'air (par exemple 20°C)
- Si l'air est très chargé en humidité (situation de pré-orage en été), alors la tour évaporera très peu d'eau et donc refroidira très peu. À l'extrême, si l'air est saturé d'eau, le refroidissement sera quasi-nul car il n'y aura pas d'évaporation