

La stratification de l'eau dans un ballon d'eau chaude

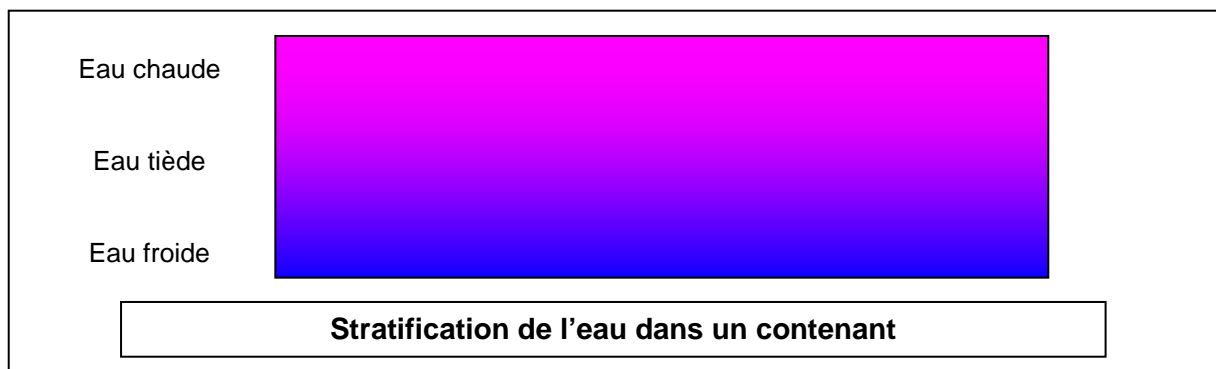
Principe

La densité de l'eau varie avec sa température. De manière simplifiée, plus l'eau est froide, plus elle est dense.

« Un litre d'eau froide, c'est plus lourd qu'un litre d'eau chaude. »

A cause de cette propriété, des eaux chaudes et froides qui cohabitent dans un contenant (casserole, ballon d'eau chaude, mais aussi lac ou océan) ont tendance à rester séparées en couches (en strates d'où le nom de stratification), les eaux chaudes au dessus, les eaux froides dessous.

L'eau la plus froide reste au fond, puis viennent au dessus les eaux plus tièdes, les couches d'eaux chaudes étant au dessus.



D'autre part, l'eau étant plutôt isolante, les échanges thermiques entre couches de températures différentes sont faibles, cela permet à l'organisation en couches de températures de durer : la stratification est un phénomène stable.

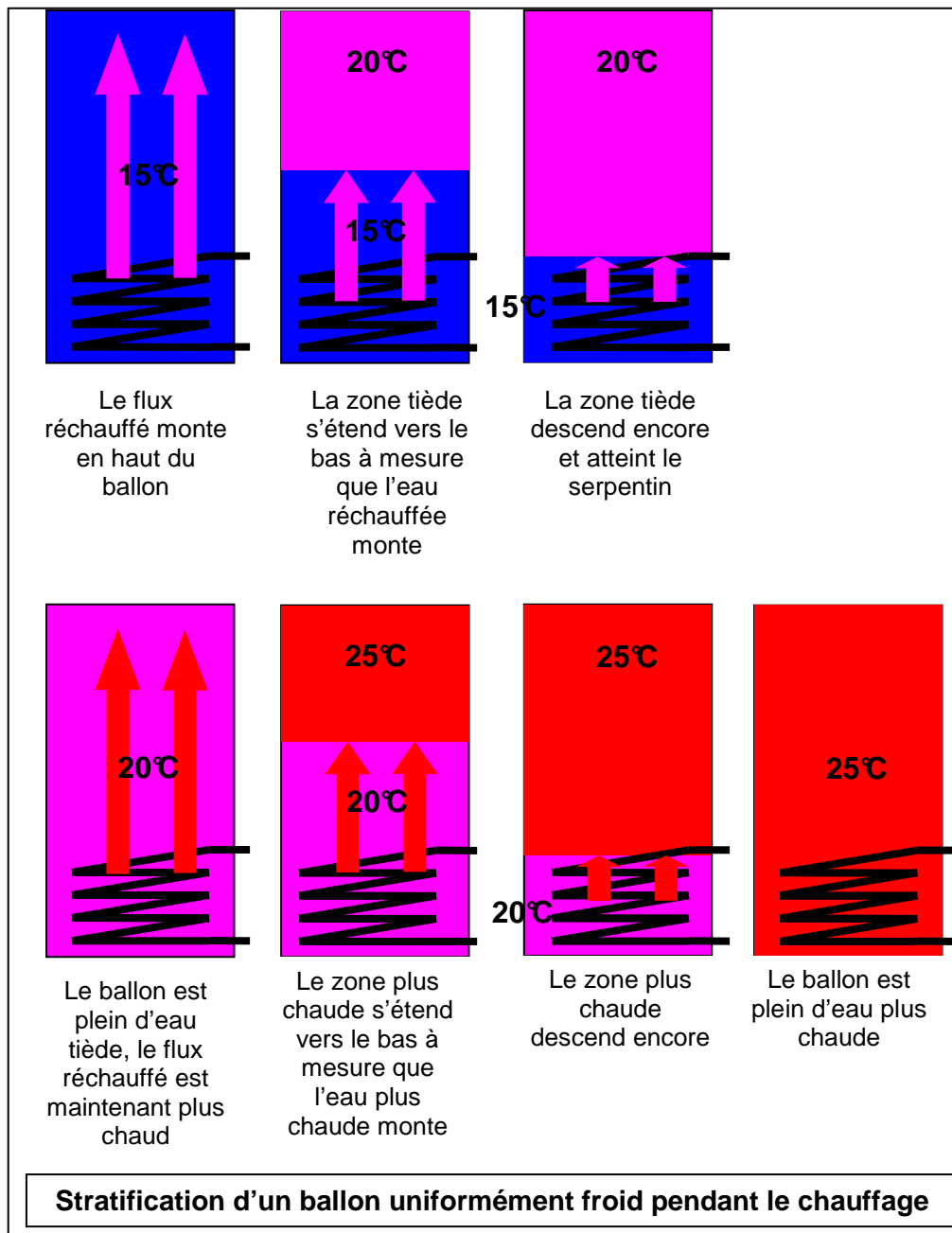
Cette séparation entre eaux chaudes et froides est bénéfique dans un ballon d'eau chaude car elle permet de toujours pouvoir disposer de l'eau la plus chaude. Elle évite notamment que l'eau à température d'usage ne se mélange à l'eau froide et perde en température.

Les sections suivantes décrivent les processus de chauffe et tirage dans un ballon. On suppose le cas d'un ballon solaire classique avec le serpentin solaire dans le bas.

Le fait que le ballon contienne de l'Eau Chaude Sanitaire ou de l'eau de chauffage n'a pas d'importance : la stratification fonctionne de la même manière.

Chauffage d'un ballon à température uniforme

Le ballon est initialement rempli d'eau froide.



Le schéma ne décrit que 2 étapes de la progression en température par étapes de 5°C.

Pour chauffer à 50°C de l'eau initialement à 15°C, le ballon sera chauffé totalement à 20°C, puis 25°C, etc. jusqu'à atteindre 50°C.

L'écart entre la partie froide et la partie réchauffée (5°C dans le schéma) dépend de la puissance délivrée par le serpentin solaire.

Plus cette puissance est forte, plus l'écart est élevé, et moins d'étapes sont nécessaires pour chauffer le ballon.

Conclusions

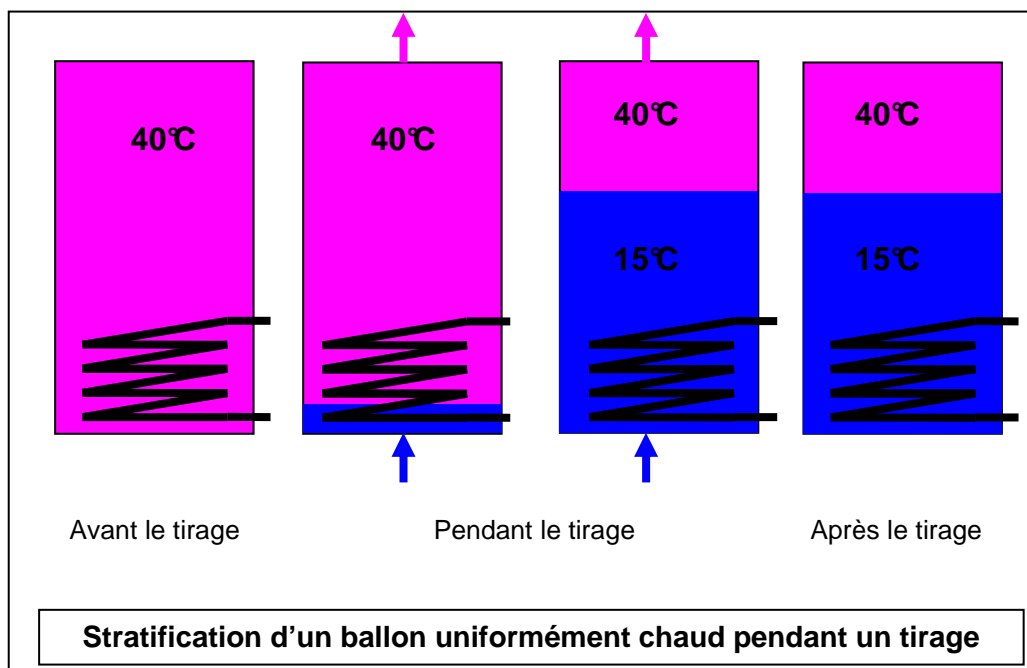
- 1) Pendant le chauffage d'un ballon initialement à température uniforme, la stratification s'établit : le haut du ballon est toujours à une température plus élevée ou égale à celle du bas du ballon.

- 2) L'écart entre le haut du ballon et le bas du ballon reste faible, et cet écart est lié à la puissance de chauffe.
- 3) Il est impossible de rendre le haut du ballon chaud sans chauffer aussi le bas à quasiment la même température.

Stratification d'un ballon lors d'un tirage d'eau

On part maintenant du même ballon qu'on suppose uniformément chaud (à la même température en bas et en haut).

On prend de l'eau chaude dans le haut du ballon et l'eau chaude retirée est remplacée par de l'eau froide qui entre dans le bas du ballon.



Avec le temps, des échanges de chaleur se produisent à la frontière entre eau chaude et froide, mais ces échanges restent localisés et lents. La stratification est globalement stable à l'échelle de quelques jours.

C'est un gros avantage car elle permet de garder l'eau chaude à température d'usage sans qu'elle soit refroidie par l'eau froide entrante.

Exemple : Dans un chauffe-eau qui contenait 100 litres d'eau à 40°C, on effectue un tirage de 50 litres d'eau chaude, remplacée par 50 litres d'eau froide à 10°C. Si la stratification est respectée, on peut compter sur 50 litres d'eau chaude à 40°C. Si la stratification n'existe pas ou est fortement perturbée par le tirage, nous aurons à terme 100 litres d'eau plus ou moins tiède entre 20 et 30°C. La quantité de chaleur restant dans le ballon est la même, mais s'agissant d'un chauffe-eau, il est beaucoup plus agréable de prendre une douche à 40°C qu'à 25°C.

Conclusions

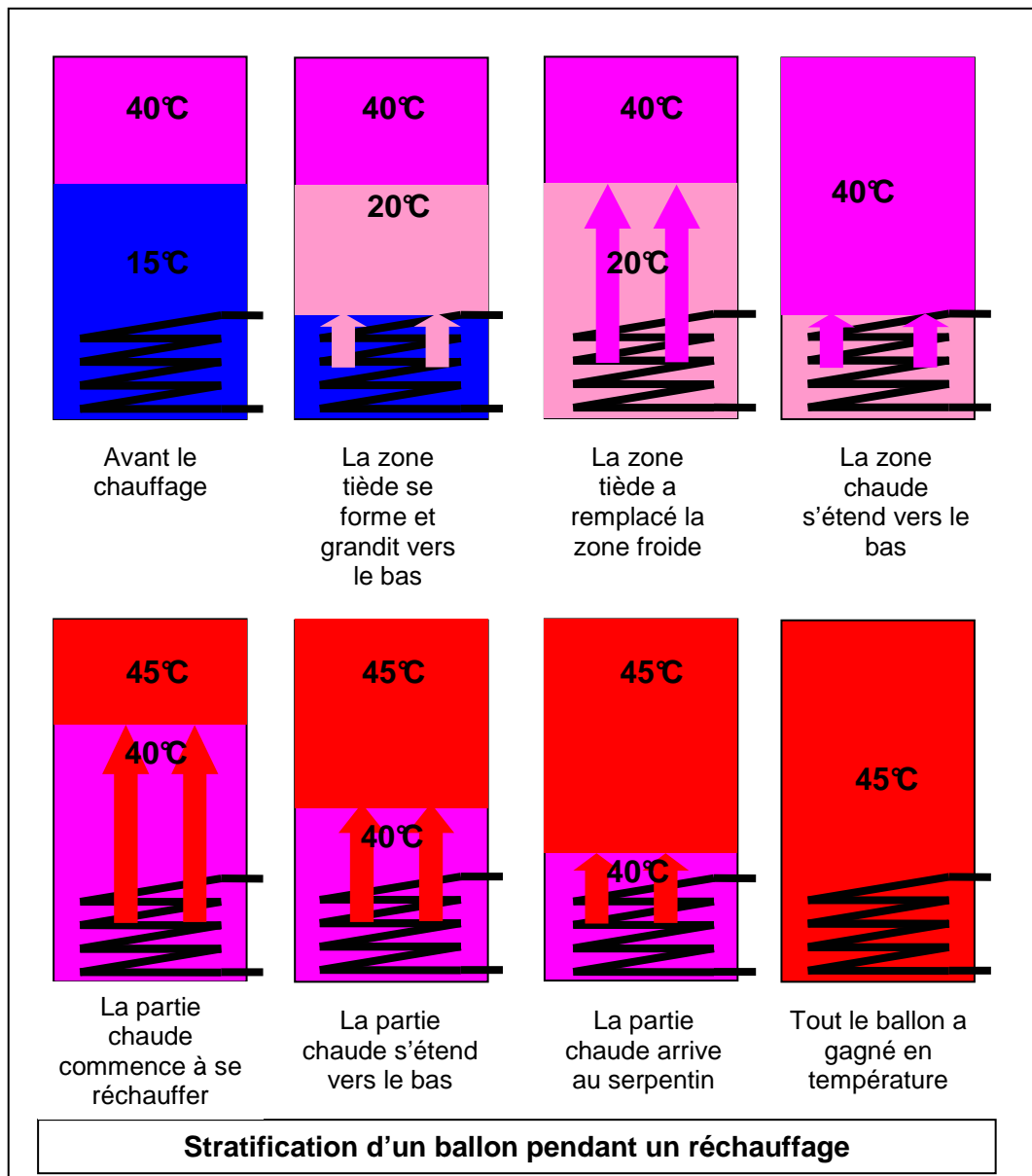
- 1) La stratification existante d'un ballon n'est pas supprimée par un tirage d'eau chaude.
- 2) Certaines règles sont à respecter pour conserver cette stratification bénéfique :
 - Prélever l'eau chaude en haut du ballon
 - Faire entrer l'eau froide en bas
 - Faire entrer l'eau froide le plus doucement possible pour éviter qu'elle vienne mélanger la stratification
- 3) Il peut être difficile de savoir quelle quantité d'eau chaude il reste dans un ballon en ne connaissant que les températures en bas et en haut de ce ballon :
 - Si les 2 températures sont sensiblement égales, le ballon est à une température uniforme et on connaît alors son contenu.
 - Par contre, si les 2 températures sont éloignées, il est impossible de savoir où se trouve la limite entre eau chaude et froide, et donc d'estimer la quantité d'eau chaude disponible.

Chauffage d'un ballon après tirage

Nous avons vu comment chauffait un ballon froid et l'évolution de la stratification lors d'un tirage d'eau chaude.

En pratique, quand un ballon est chauffé, il a fait l'objet d'un ou plusieurs tirages.

Que se passe-t-il si le solaire chauffe un ballon stratifié à la suite d'un tirage ?



Il y a en fait 2 étapes :

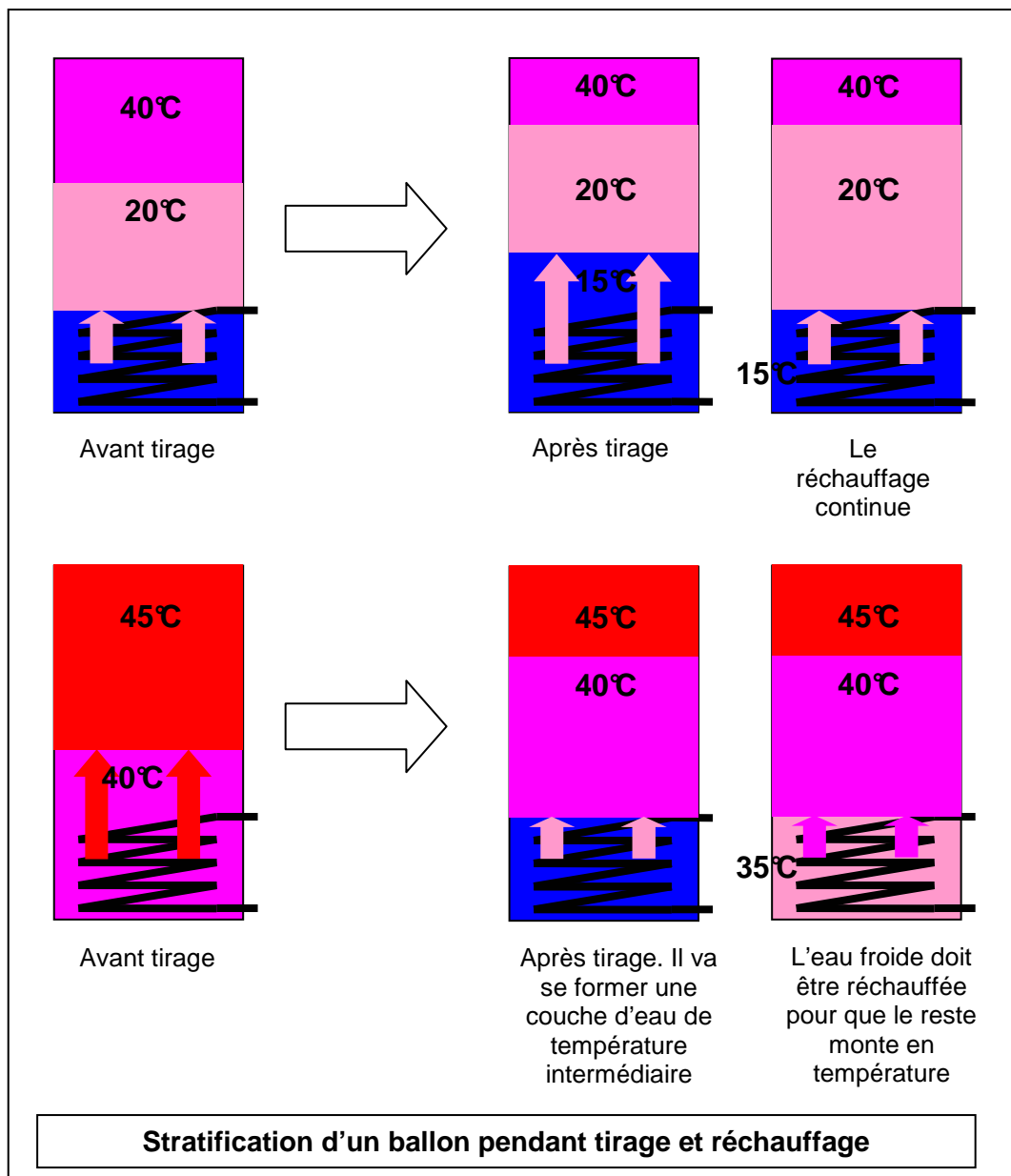
- 1) Le réchauffage de la partie froide jusqu'à ce qu'elle atteigne la température de la partie chaude. Dans cette étape, la partie chaude du ballon n'est pas impactée.
Ce réchauffage se fait en plusieurs itérations de température, dépendant de la puissance solaire.
- 2) Le réchauffage du ballon uniformément chaud, qui se déroule conformément à la 1^{ère} section de cette note.
Ce réchauffage se fait aussi en plusieurs itérations.

Conclusions

- 1) Dans un ballon stratifié avec une partie chaude et une partie froide, le réchauffage par un serpentin bas conserve la stratification.
- 2) Il faut que la partie la plus froide soit chauffée avant que la partie chaude puisse monter en température.
Une conséquence est qu'il faut éviter de prendre des ballons trop gros par

rapport à la puissance solaire disponible (et donc la surface de capteurs) si l'on veut obtenir des températures hautes. Sinon le solaire ne pourra produire que de l'eau insuffisamment chaude pour être utilisée directement (on a le choix entre produire beaucoup d'eau tiède ou peu d'eau chaude).

- 3) S'il y a tirage et chauffage simultanés, la stratification est aussi préservée car les deux process vont dans le même sens : l'eau la plus chaude reste en haut, l'eau entrante (la plus froide) entre au plus bas, et entre eux se trouve la zone contenant l'eau en cours de réchauffement.



Le schéma ci-dessus montre deux exemples de tirages et chauffage simultanés. La durée des tirages est en général bien inférieure à celle du chauffage.