



PROGRAMME D'ACCOMPAGNEMENT DES PROFESSIONNELS
« Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »

www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr

RAPPORT

**CONCEPTION
ET DIMENSIONNEMENT
DES VOLUMES TAMPONS**

FÉVRIER 2013

ÉDITO

Le Grenelle Environnement a fixé pour les bâtiments neufs et existants des objectifs ambitieux en matière d'économie et de production d'énergie. Le secteur du bâtiment est engagé dans une mutation de très grande ampleur qui l'oblige à une qualité de réalisation fondée sur de nouvelles règles de construction.

Le programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » a pour mission, à la demande des Pouvoirs Publics, d'accompagner les quelque 370 000 entreprises et artisans du secteur du bâtiment et l'ensemble des acteurs de la filière dans la réalisation de ces objectifs.

Sous l'impulsion de la CAPEB et de la FFB, de l'AQC, de la COPREC Construction et du CSTB, les acteurs de la construction se sont rassemblés pour définir collectivement ce programme. Financé dans le cadre du dispositif des certificats d'économies d'énergie grâce à des contributions importantes d'EDF (15 millions d'euros) et de GDF SUEZ (5 millions d'euros), ce programme vise, en particulier, à mettre à jour les règles de l'art en vigueur aujourd'hui et à en proposer de nouvelles, notamment pour ce qui concerne les travaux de rénovation. Ces nouveaux textes de référence destinés à alimenter le processus normatif classique seront opérationnels et reconnus par les assureurs dès leur approbation ; ils serviront aussi à l'établissement de manuels de formation.

Le succès du programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » repose sur un vaste effort de formation initiale et continue afin de renforcer la compétence des entreprises et artisans sur ces nouvelles techniques et ces nouvelles façons de faire. Dotées des outils nécessaires, les organisations professionnelles auront à cœur d'aider et d'inciter à la formation de tous.

Les professionnels ont besoin rapidement de ces outils et « règles du jeu » pour « réussir » le Grenelle Environnement.

Alain MAUGARD

Président du Comité de pilotage du Programme
« Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »
Président de QUALIBAT



PROGRAMME D'ACCOMPAGNEMENT DES PROFESSIONNELS

« Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »

Ce programme est une application du Grenelle Environnement. Il vise à revoir l'ensemble des règles de construction, afin de réaliser des économies d'énergie dans le bâtiment et de réduire les émissions de gaz à effet de serre.

www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr

AVANT-PROPOS

Afin de répondre au besoin d'accompagnement des professionnels du bâtiment pour atteindre les objectifs ambitieux du Grenelle Environnement, le programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » a prévu d'élaborer les documents suivants :

Les Recommandations Professionnelles « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont des documents techniques de référence, préfigurant un avant-projet NF DTU, sur une solution technique clé améliorant les performances énergétiques des bâtiments. Leur vocation est d'alimenter soit la révision d'un NF DTU aujourd'hui en vigueur, soit la rédaction d'un nouveau NF DTU. Ces nouveaux textes de référence seront reconnus par les assureurs dès leur approbation.

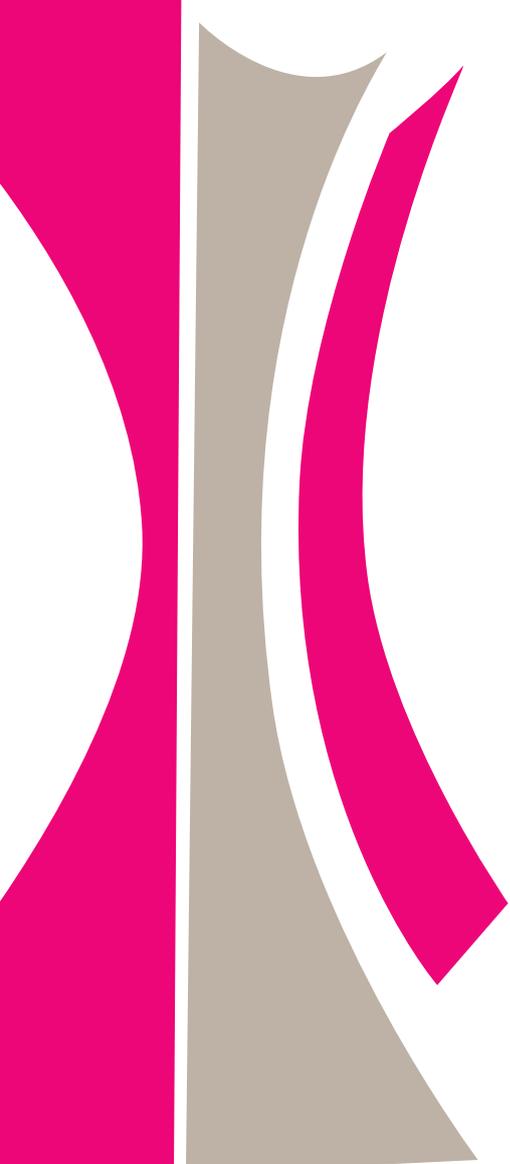
Les Guides « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont des documents techniques sur une solution technique innovante améliorant les performances énergétiques des bâtiments. Leur objectif est de donner aux professionnels de la filière les règles à suivre pour assurer une bonne conception, ainsi qu'une bonne mise en œuvre et réaliser une maintenance de la solution technique considérée. Ils présentent les conditions techniques minimales à respecter.

Les Calepins de chantier « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont des mémentos destinés aux personnels de chantier, qui illustrent les bonnes pratiques d'exécution et les dispositions essentielles des Recommandations Professionnelles et des Guides « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 ».

Les Rapports « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » présentent les résultats soit d'une étude conduite dans le cadre du programme, soit d'essais réalisés pour mener à bien la rédaction de Recommandations Professionnelles ou de Guides.

Les Recommandations Pédagogiques « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont des documents destinés à alimenter la révision des référentiels de formation continue et initiale. Elles se basent sur les éléments nouveaux et/ou essentiels contenus dans les Recommandations Professionnelles ou Guides produits par le programme.

L'ensemble des productions du programme d'accompagnement des professionnels « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » est mis gratuitement à disposition des acteurs de la filière sur le site Internet du programme : <http://www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr>



AVERTISSEMENT

Les données techniques de ce rapport ne doivent pas se substituer aux préconisations émises par le constructeur.

Les images présentées sont issues d'un logiciel de simulation thermique dynamique. Les simulations ont été effectuées en mode stationnaire, en conditions stabilisées, à un instant donné et pour des conditions de débit et de température fixées.



PROGRAMME D'ACCOMPAGNEMENT DES PROFESSIONNELS

« Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »

Ce programme est une application du Grenelle Environnement. Il vise à revoir l'ensemble des règles de construction, afin de réaliser des économies d'énergie dans le bâtiment et de réduire les émissions de gaz à effet de serre.

www.reglesdelart-grenelle-environnement-2012.fr

Sommaire

1 - Introduction	6
2 - Les volumes tampons à quatre piquages	8
2.1. • Description des phénomènes.....	8
2.2. • Optimisation du rapport hauteur sur diamètre	12
2.3. • Optimisation du rapport de débits primaire-secondaire	14
2.4. • Incidence du décalage des raccordements.....	15
2.5. • Comparaison avec une bouteille de découplage	17
2.6. • Utilisation de diffuseurs	20
3 - Les volumes tampons à deux piquages	23
4 - L'isolation du volume tampon.....	26
5 - Les volumes tampons sur les installations de pompe à chaleur.....	29
5.1. • Dimensionnement du volume tampon	29
5.2. • Choix et implantation	31
6 - Les volumes tampons sur les installations bois.....	33
6.1. • Dimensionnement du volume tampon	33
6.2. • Choix et implantation	35



1

Introduction



Les volumes tampons sont souvent prescrits sur les installations de pompes à chaleur ainsi que sur les installations de chauffage au bois pour garantir leur bon fonctionnement.

Ils assurent, le cas échéant, l'inertie nécessaire afin d'éviter le fonctionnement intermittent de la production sur les installations avec pompes à chaleur. Ils constituent une hydroaccumulation en chauffage au bois. Ils peuvent également jouer le rôle de découplage en remplacement d'une bouteille.

Or, pour des questions de coût et d'encombrement, ils sont souvent remplacés par d'autres solutions (bouteilles de découplage, bipasses,...) qui peuvent être à l'origine de dysfonctionnements de l'installation : courts cycles, phénomènes de mélange,...

L'objectif de l'étude est d'établir les règles de bonnes pratiques de conception des volumes tampons implantés sur les installations individuelles de chauffage mettant en œuvre des énergies renouvelables. Il s'agit de donner aux installateurs des préconisations sur le dimensionnement en contenance, la géométrie, les raccordements, la localisation sur l'installation ou encore les débits à respecter sur les différents circuits.

Cette étude traite des volumes tampons mono-énergie, sans échangeur, qui équipent les installations individuelles de pompes à chaleur et de chaudières bois. Elle ne concerne pas les ballons échangeurs comme ceux utilisés en solaire pour les chauffe-eau solaires individuels (CESI) et les systèmes solaires combinés (SSC) souvent commercialisés en kits par le fabricant.

Les deux configurations de volumes tampons étudiées sont (Figure 1) :

- Les volumes tampons à quatre piquages. Ils permettent d'assurer le découplage hydraulique entre la partie production et la partie usage.

- Les volumes tampons à deux piquages placés en entrée ou en sortie de production. Leur contenance est généralement plus faible que celle des volumes tampons à quatre piquages.



▲ Figure 1 : Vue de volumes tampons à deux et quatre piquages

NOTA

Les volumes tampons à trois piquages ont également été étudiés dans le cadre de l'étude. Il s'agit de volumes tampons à quatre piquages comportant un orifice obturé. Les résultats ne sont pas exposés dans ce rapport car ils ne sont pas retenus en application courante.

Afin de pouvoir déterminer les règles de bonnes pratiques et de mettre en évidence les phénomènes se produisant dans les volumes tampons, des simulations sous COMSOL (logiciel de simulation thermique dynamique) ont été réalisées.

Trois types de volumes tampons du commerce ont été simulés :

- volume tampon à quatre piquages, avec raccordements dans le même plan, d'une contenance de 300 litres (1,15 mètre de hauteur et 0,57 mètre de diamètre) ;
- volume tampon à quatre piquages, avec raccordements orientés à 90°, d'une contenance de 300 litres (1,15 mètre de hauteur et 0,57 mètre de diamètre) ;
- volume tampon à deux piquages de 200 litres (1,02 mètre de hauteur et 0,50 mètre de diamètre).

Ces simulations permettent d'observer les mouvements de fluide et les variations de température dans les volumes tampons lors du fonctionnement de l'installation (en régime stationnaire). Les résultats des simulations fournissent en particulier des vues en couleur :

- de la répartition des températures ;
- du champ des vitesses du fluide ;
- des vecteurs vitesses.

Elles ont été complétées par des mesures de thermographie infrarouge, par une étude bibliographique et par une enquête (auprès des fabricants de pompes à chaleur et de chaudières bois individuelles et sur l'offre en volumes tampons du commerce).

L'étude menée permet d'enrichir les connaissances actuelles pour aboutir à des règles de dimensionnement des volumes tampons et d'implantation sur les installations.

Elles sont exploitées dans les productions du programme RAGE 2012 sur les pompes à chaleur et les installations bois.



Les volumes tampons à quatre piquages

2



2.1. • Description des phénomènes

Phénomènes se produisant dans les volumes tampons à quatre piquages dont les raccordements sont dans le même plan

Les simulations ont été menées sur un volume tampon à quatre piquages de 300 litres présentant une hauteur de 1,15 mètre et un diamètre de 0,57 mètre, représentatif d'un modèle du commerce. Les raccordements sont situés dans le même plan.

La (Figure 2), la (Figure 3) et la (Figure 4) présentent respectivement les répartitions de température, des vitesses et des vecteurs vitesses au sein du volume tampon. Les simulations sont réalisées pour un débit au primaire supérieur de 10 % au débit au secondaire.

Sur les figures, la production est située à gauche. Elle alimente le circuit usage à droite. La température de sortie de production est fixée à 60 °C et la température en sortie de circuit usage à 55 °C.

Il est possible d'observer :

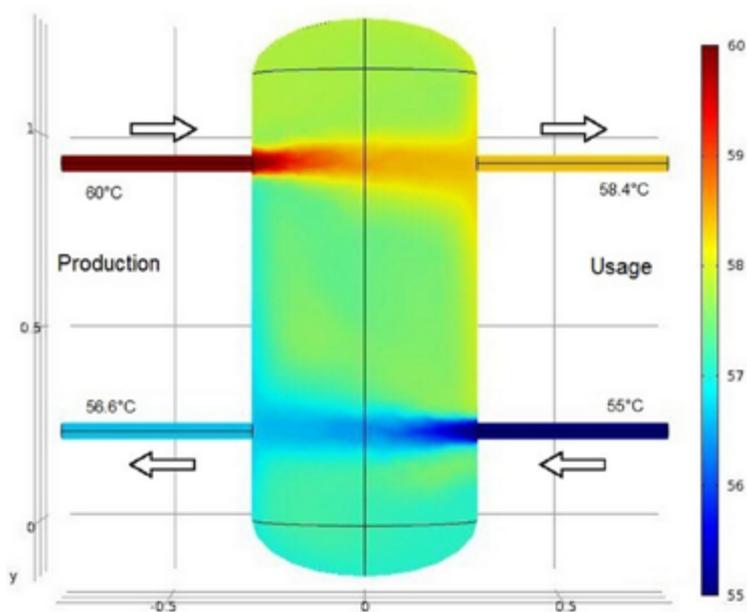
- en partie supérieure du volume tampon, une zone créée par l'impact du jet entrant venant de la production sur la paroi opposée. Ce vortex dans la partie supérieure du volume tampon est à une vitesse très faible, de l'ordre de 0,005 m/s, ce qui permet d'effectuer un dégazage efficace en haut du volume tampon ;
- une zone centrale, dans laquelle un phénomène de « bi-circulation » se produit. Le jet entrant côté production impacte la paroi opposée et se dirige vers le jet entrant côté usage situé en bas du volume tampon : l'eau « chaude » en provenance de la production réchauffe directement l'eau « froide » en provenance de l'usage dès son entrée dans le volume tampon. Le jet entrant côté usage impacte, quant à lui, la paroi opposée et se dirige

vers le jet entrant côté production situé en haut du volume tampon : l'eau « froide » issue de l'usage refroidit directement l'eau « chaude » de la production dès son entrée dans le volume tampon. L'écart de température observé entre la sortie production (60 °C) et l'entrée du circuit usage (58,4°C) est de l'ordre de 1,5 K ;

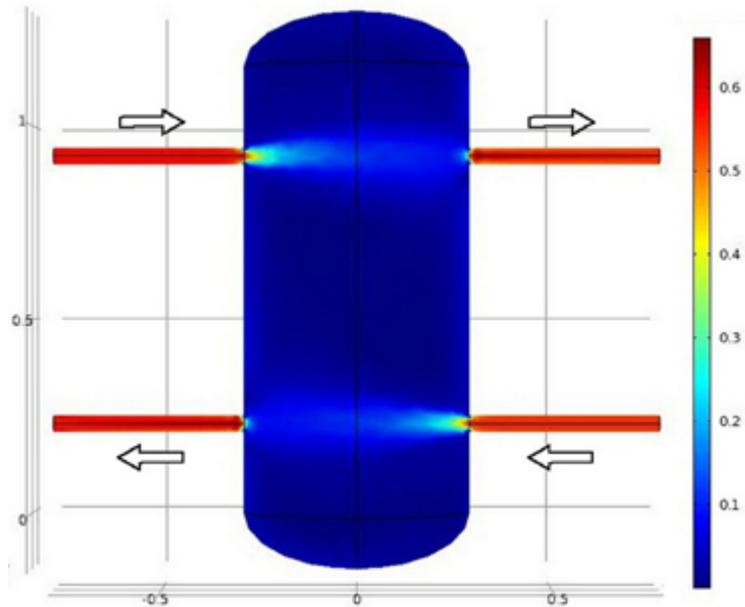
- une zone en bas du volume tampon, créée par l'impact du jet entrant venant de l'usage sur la paroi opposée. Ce vortex dans la partie inférieure du volume tampon est à une vitesse très faible, de l'ordre de 0,005 m/s, ce qui permet une décantation des particules solides.

A RETENIR

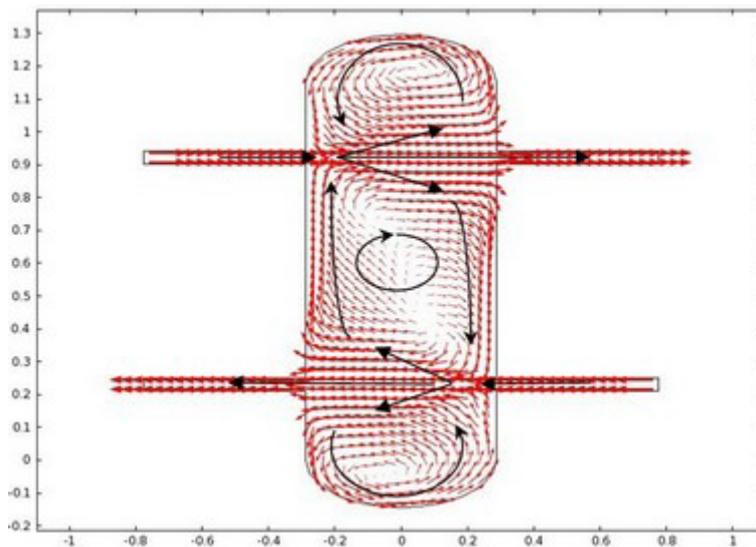
Les phénomènes qui se produisent dans les volumes tampons à quatre piquages induisent systématiquement une température en entrée du circuit usage inférieure à la température de sortie de production introduite dans le volume tampon.



▲ Figure 2 : Simulation de la répartition des températures (en °C) dans un volume tampon à quatre piquages (sur-débit de 10 % au primaire)



▲ Figure 3 : Simulation de la répartition des vitesses (en m/s) dans un volume tampon à quatre piquages (sur-débit de 10 % au primaire)



▲ Figure 4 : Simulation de la répartition des vecteurs vitesses dans un volume tampon à quatre piquages (échelle logarithmique accentuée des vecteurs) (sur-débit de 10 % au primaire)

Phénomènes se produisant dans les volumes tampons à quatre piquages dont les raccords sont orientés à 90°

Les volumes tampons conçus avec des piquages à 90° ou 100°, comme présenté en (Figure 5), permettent de faciliter l'implantation dans un angle du local technique.

Cette configuration n'étant pas rare, un volume tampon à quatre piquages de 300 litres présentant une hauteur de 1,15 mètre et un diamètre de 0,57 mètre dont les raccords sont orientés à 90° a été simulé.

La répartition des températures en (Figure 5) est à comparer aux résultats de la (Figure 2) pour un volume tampon de même contenance et de mêmes caractéristiques dimensionnelles dont les raccords sont dans le même plan.

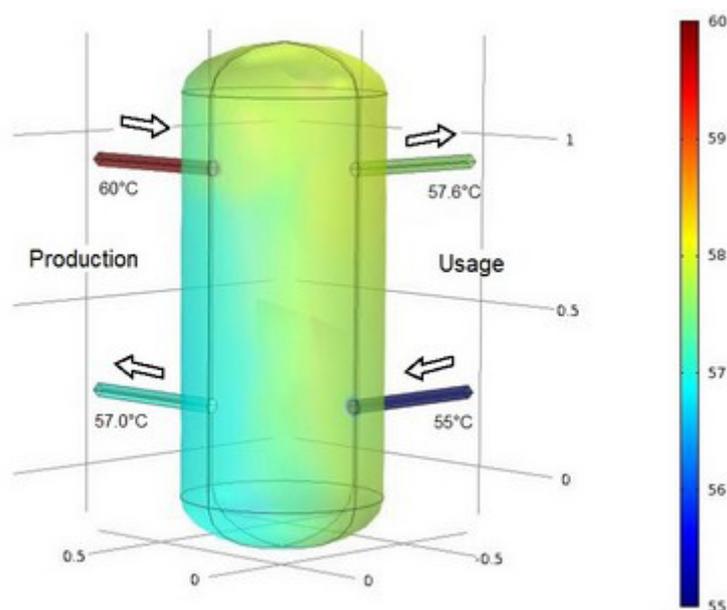
On constate en (Figure 5) un fort brassage au sein du volume tampon. Les températures au niveau des deux sorties du volume tampon (entrée usage et entrée production) sont quasiment similaires, respectivement de 57,6 et 57 °C. Elles correspondent à la moyenne des températures entre la sortie production et la sortie usage.

L'abaissement de température entre la sortie production et l'entrée usage est de l'ordre de :

- 1,5 K pour le volume tampon dont les raccordements sont sur le même plan (Figure 2) ;
- 2,5 K pour le volume tampon dont les raccordements sont orientés à 90° (Figure 5).

A RETENIR

Bien que le volume tampon à quatre piquages orientés à 90° présente de nombreux avantages d'implantation, il est préférable de placer les raccordements des circuits production et usage dans le même plan pour minimiser le brassage au sein du volume tampon et réduire l'abaissement de température en entrée du circuit usage.



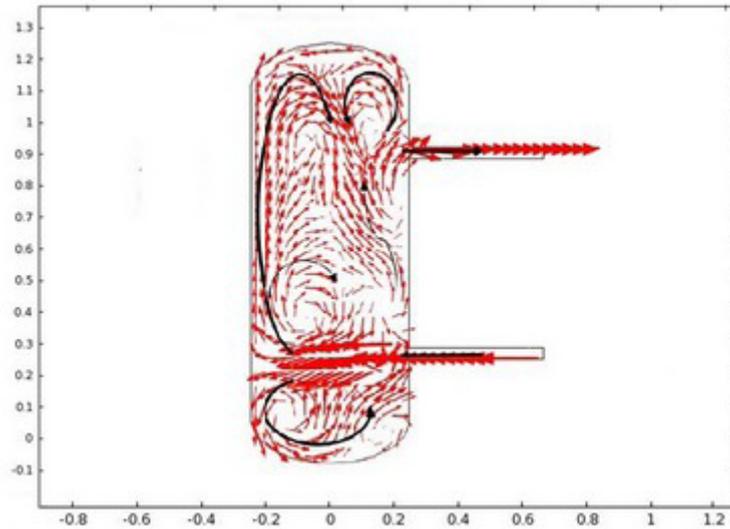
▲ Figure 5 : Simulation de la répartition des températures (en °C) dans un volume tampon à quatre piquages orientés à 90° (sur-débit de 10 % au primaire)

La (Figure 6) et la (Figure 7) permettent d'observer plus précisément les phénomènes et plus particulièrement les mouvements de fluides au sein de ce type de volume tampon.

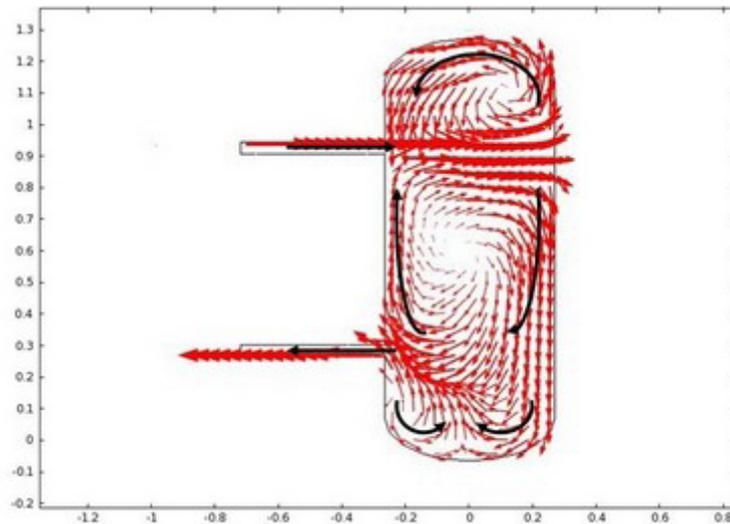
Elles montrent que les flux se déplacent sous forme hélicoïdale au sein du volume tampon. La sortie usage et la sortie production se croisent pour rencontrer quasi directement et respectivement l'entrée production et l'entrée usage.

Il est possible de parler de « bi-circulation croisée ».

De plus, l'orientation des jets entrants ne permet pas un dégazage et une décantation efficaces au sein du volume tampon.



▲ Figure 6 : Simulation de la répartition des vecteurs vitesses dans un volume tampon à quatre piquages avec raccords orientés à 90° (échelle logarithmique accentuée des vecteurs) – Vue des piquages côté usage



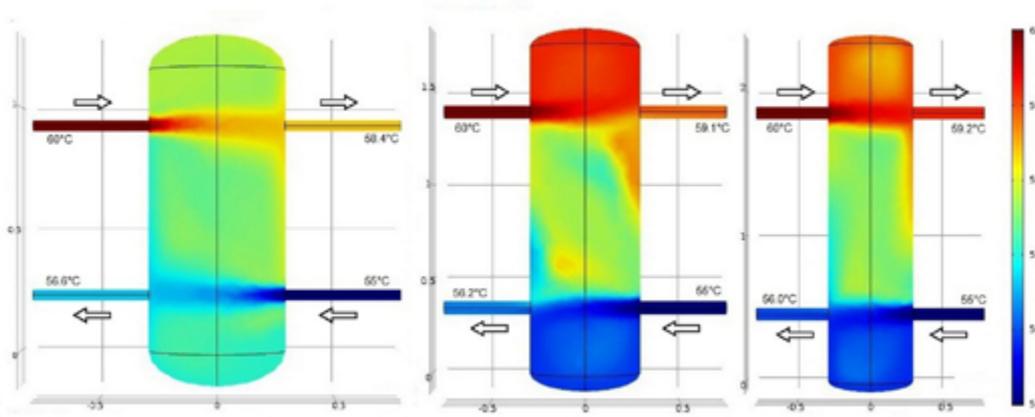
▲ Figure 7 : Simulation de la répartition des vecteurs vitesses dans un volume à quatre piquages avec raccords orientés à 90° (échelle logarithmique accentuée des vecteurs) – Vue des piquages côté production

2.2. • Optimisation du rapport hauteur sur diamètre

Les simulations ont été menées sur un volume tampon à quatre piquages de 300 litres dont les raccords sont situés dans le même plan.

L'étude paramétrique a consisté à faire varier le rapport « hauteur sur diamètre » du volume tampon à contenance identique.

La (Figure 8) montre les répartitions de température au sein du volume tampon dans trois configurations : rapport hauteur sur diamètre de 2 à gauche, de 3 au centre et de 4 à droite.



▲ **Figure 8** : Simulation de la répartition des températures (en °C) dans un volume tampon à quatre piquages (sur-débit de 10 % au primaire) pour différentes valeurs du rapport hauteur sur diamètre (à contenance identique) : 2 à gauche, 3 au centre et 4 à droite

Un rapport hauteur sur diamètre supérieur à 3 permet de limiter l'abaissement de température en sortie de volume tampon (en entrée du circuit usage). Ainsi, avec un rapport hauteur sur diamètre de 3, la température en entrée de circuit usage est de 59,1 °C alors qu'elle est de 58,4 °C avec un rapport de 2, pour une température de production de 60 °C.

Les pertes thermiques sont légèrement plus élevées lorsque le rapport hauteur sur diamètre augmente puisque la surface extérieure est plus importante (à contenance identique). Ces pertes peuvent être compensées par une épaisseur de calorifuge supplémentaire.

La stratification est à favoriser car un volume tampon entièrement brassé peut induire des dysfonctionnements dus à une réduction de l'écart de température, tant sur le circuit production que sur le circuit usage.

Face à cette préconisation, les volumes tampons du commerce de contenance inférieure à 500 litres présentent généralement un rapport hauteur sur diamètre compris entre 2 et 2,5.

A RETENIR

Afin de favoriser la stratification au sein du volume tampon et d'éviter les effets de brassage entre les différentes strates de températures, un rapport hauteur sur diamètre supérieur ou égal à 3 est conseillé.

La (Figure 9) fournit les dimensions (hauteur et diamètre) de volumes tampons de différentes contenances correspondant au rapport hauteur sur diamètre conseillé de 3.

Contenance du volume tampon (en litre)	100	200	300	400	500	600
Hauteur (en mètre)	1,05	1,32	1,51	1,66	1,79	1,90
Diamètre (en mètre)	0,35	0,44	0,50	0,55	0,60	0,63

▲ **Figure 9** : Hauteur et diamètre de volumes tampons de différentes contenances correspondant au rapport hauteur sur diamètre de 3

**NOTA**

Pour une contenance supérieure à 600 litres, le rapport hauteur sur diamètre de 3 induit une hauteur supérieure à 2 mètres, qui engendre des difficultés pratiques d'encombrement et de manipulation.

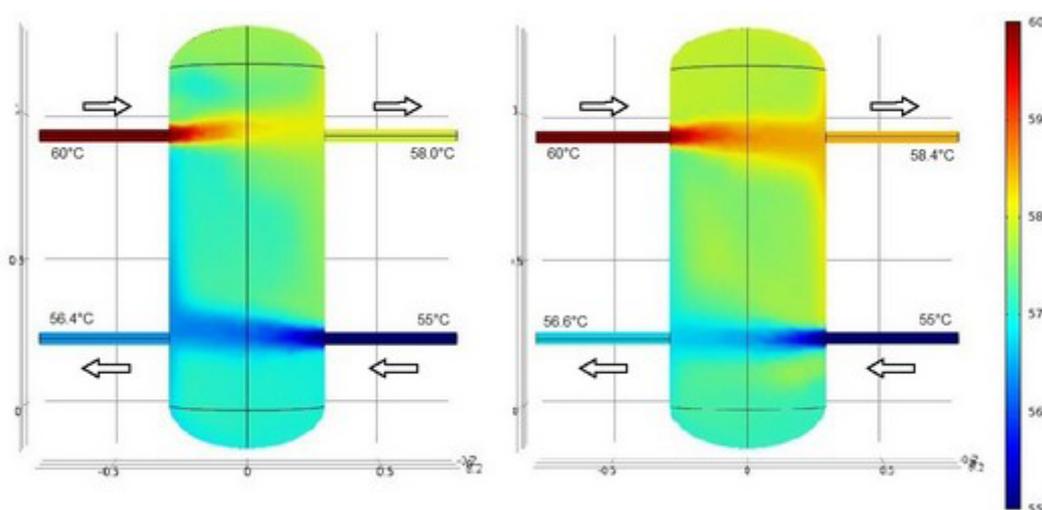
2.3. • Optimisation du rapport de débits primaire-secondaire

Les simulations ont été menées sur un volume tampon à quatre piquages de 300 litres présentant une hauteur de 1,15 mètre et un diamètre de 0,57 mètre, représentatif d'un modèle du commerce. Les raccordements sont situés dans le même plan.

La (Figure 10) montre les répartitions de températures dans le volume tampon dans deux cas :

- lorsque le débit au primaire est inférieur de 10 % au débit au secondaire, à gauche, on constate que la température en sortie de volume tampon, côté usage, est plus faible que la température en sortie de production (d'environ 2 K).
- lorsque le débit au primaire est supérieur de 10 % au débit au secondaire, à droite, le flux d'eau chaude en provenance de la production est dirigé vers la sortie du volume tampon, même si un léger abaissement de température est observé (d'environ 1,5 K).

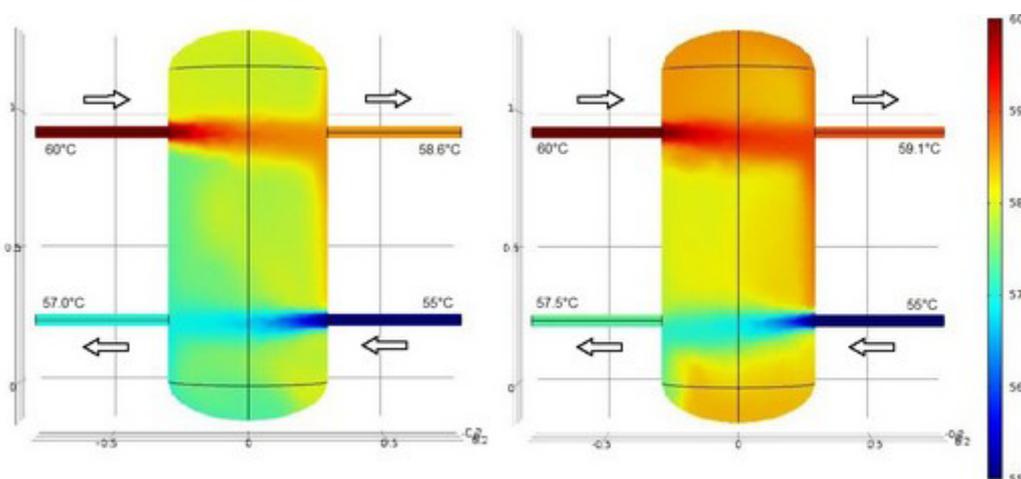
Le maintien d'un débit primaire supérieur au débit secondaire est une règle bien connue. Lorsque le débit au secondaire est supérieur au débit au primaire, un débit d'eau froide est recyclé et mélangé avec l'eau chaude en provenance de la production, d'où un abaissement significatif de température.



▲ Figure 10 : Simulation de la répartition des températures (en °C) dans un volume tampon à quatre piquages pour un sous-débit au primaire de 10 % à gauche et un sur-débit au primaire de 10% à droite

Le sur-débit au primaire ne doit toutefois pas être trop prononcé, d'autant qu'il engendre des consommations électriques supérieures du circulateur.

Comme on le constate sur la (Figure 11), pour un sur-débit au primaire de 40 %, l'ensemble du volume tampon est entièrement brassé par le fluide chaud en provenance de la production. Il s'en suit une température moyenne du volume plus élevée et donc des pertes thermiques plus importantes. La température en entrée de production est également plus élevée, ce qui réduit l'écart de température entre entrée et sortie production. Toutefois, un sur-débit plus élevé permet d'assurer une température supérieure au départ du circuit usage (59,1 °C pour un sur-débit de 40 % contre 58,6 °C pour 30 % de sur-débit).



▲ Figure 11 : Simulation de la répartition des températures (en °C) dans un volume tampon à quatre piquages pour un sur-débit au primaire de 20% à gauche et de 40% à droite

A RETENIR

Il convient de maintenir un débit au primaire supérieur au débit au secondaire sans pour autant dépasser un sur-débit trop important. Une plage de sur-débit de 10 à 30 % semble être un bon compromis.

2.4. • Incidence du décalage des raccordements

L'impact d'un décalage des raccordements a été étudié, à l'instar du décalage pratiqué sur les bouteilles de découplage des circuits de chauffage (voir chapitre [2.5]).

Des simulations ont été menées sur un volume tampon à quatre piquages de 300 litres présentant une hauteur de 1,15 mètre et un diamètre de 0,57 mètre, dont les raccordements sont situés dans le même plan.

Les canalisations d'arrivée depuis la production et de départ vers l'usage sont décalées, comme le montre la (Figure 12). De même, un décalage est opéré au niveau des canalisations de retour de l'usage et de départ vers la production.



Les résultats de simulation de la répartition de températures de la (Figure 12) sont à comparer à ceux de la (Figure 2) pour un volume tampon dont les raccordements sont en regard.

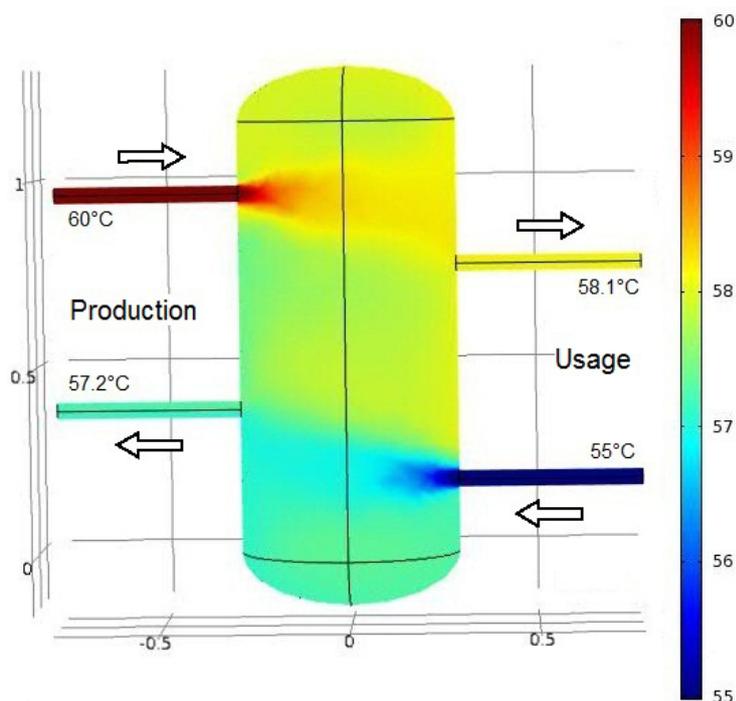
On constate à la (Figure 12) un abaissement de près de 2 K en sortie de volume tampon, au départ du circuit usage, par rapport à la température d'entrée depuis la production.

Ainsi, le décalage des raccordements ne permet pas de réduire la chute de température. Elle est même légèrement augmentée par rapport aux simulations sur le volume tampon avec raccordements en vis-à-vis. La température au départ du circuit usage est de 58,4 °C à la (Figure 2).

Les phénomènes de stratification observés dans les bouteilles de découplage sont principalement dus au rapport hauteur sur diamètre important, et non pas à l'effet du décalage des raccordements (voir chapitre [2.5]).

A RETENIR

Un décalage des raccordements ne permet pas de réduire de manière significative les effets de mélange au sein du volume tampon. L'abaissement de température entre l'entrée côté usage et la sortie côté production est maintenu.



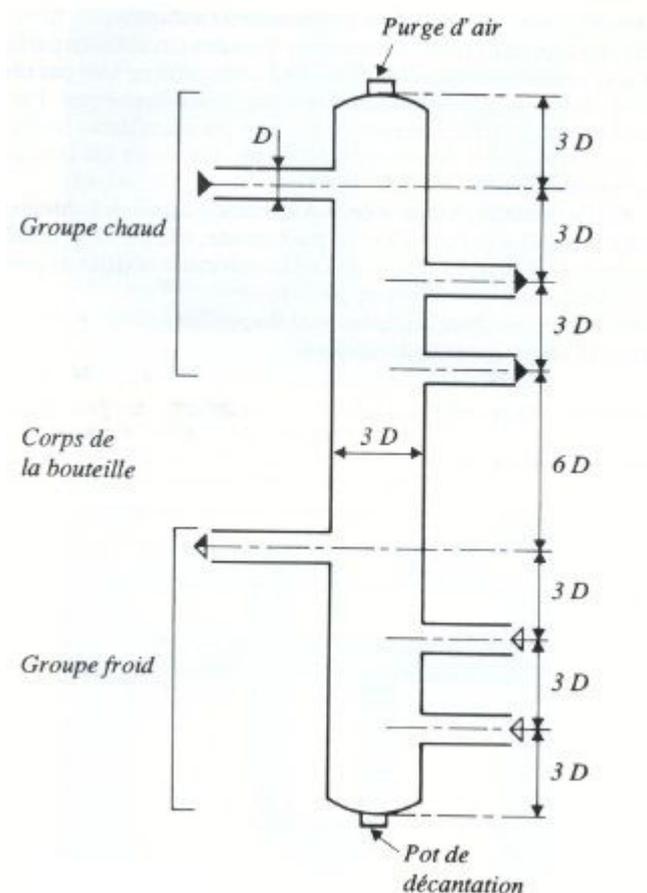
▲ Figure 12 : Simulation de la répartition des températures (en °C) dans un volume tampon à quatre piquages dont les raccordements sont décalés (sur-débit de 10 % au primaire)

2.5. • Comparaison avec une bouteille de découplage

A titre de comparaison, des simulations ont été réalisées sur une bouteille de découplage conçue selon la « règle des 3D » bien connue et appliquée sur les installations de chauffage.

Les caractéristiques dimensionnelles sont reprises sur le schéma de la (Figure 13).

L'écartement entre les raccordements est de 3 fois le diamètre des canalisations de raccordement. Un décalage de cette même valeur est opérée entre la sortie production et l'entrée usage, de même qu'entre la sortie usage et l'entrée production.



▲ Figure 13 : Schéma de dimensionnement de la bouteille de découplage selon la « règle des 3D »

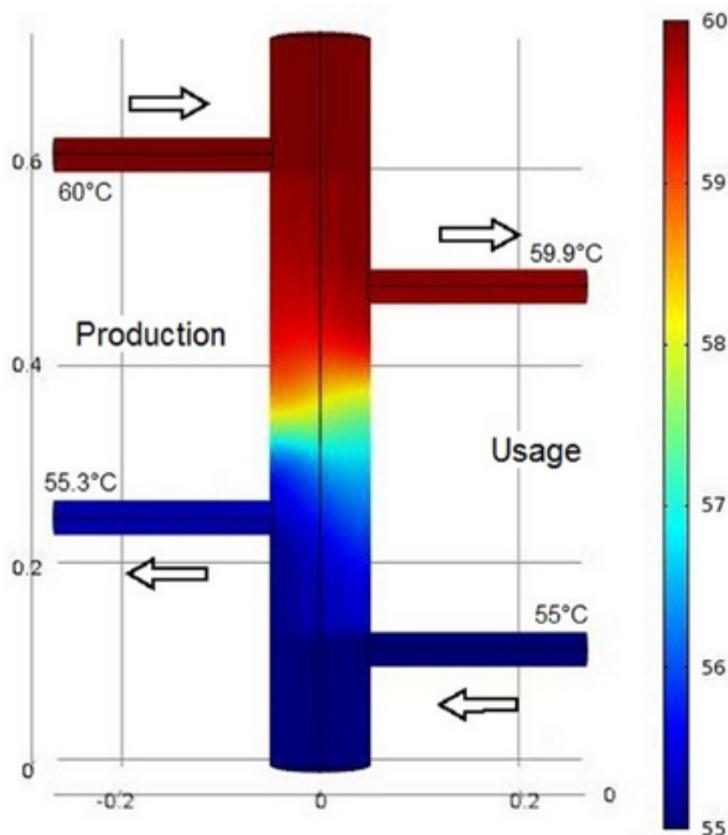
La (Figure 14), la (Figure 15) et la (Figure 16) présentent respectivement les répartitions de températures, des vitesses et des vecteurs vitesses au sein de la bouteille de découplage résultant des simulations.

Les simulations ont été menées avec un débit au primaire supérieur de 10 % au débit secondaire, comme cela est conseillé.



Sur les figures, la production est située à gauche. Elle alimente le circuit usage à droite. La température de sortie de production est fixée à 60 °C et la température en sortie de circuit usage à 55 °C.

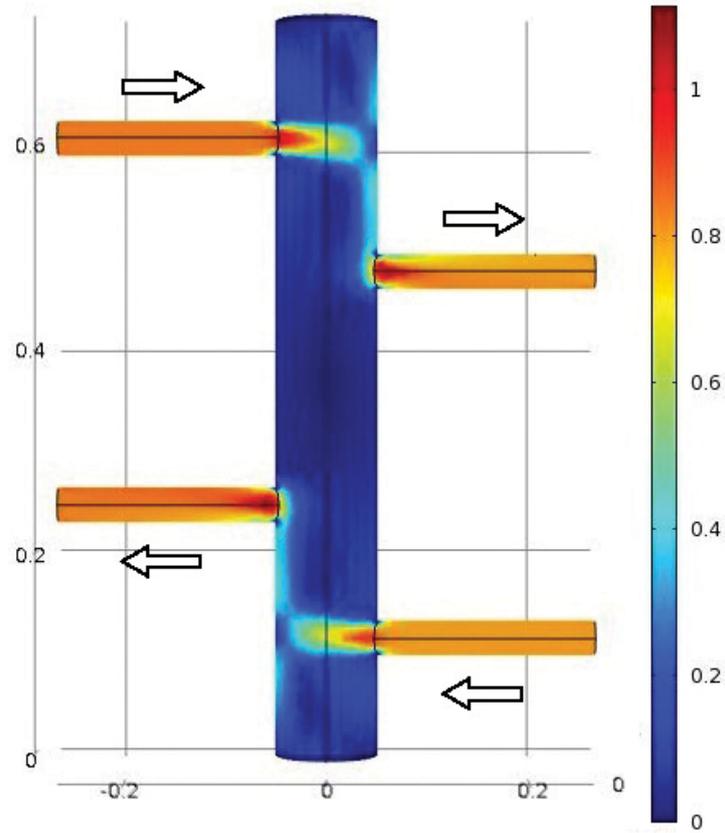
Comme les séquences vidéo du COSTIC ont pu le mettre en évidence en 1990, une parfaite stratification dans la bouteille est observée. La température du circuit usage est quasiment identique à la température de la production (Figure 14). Les vitesses en partie supérieure et inférieure de la bouteille (Figure 15) et (Figure 16) sont très faibles et favorables respectivement au dégazage et à la décantation.



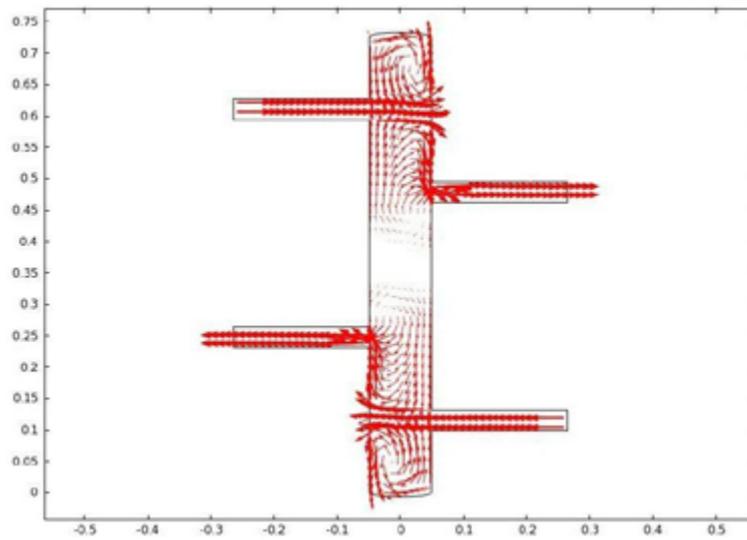
▲ Figure 14 : Simulation de la répartition des températures (en °C) dans une bouteille de découplage (sur-débit de 10 % au primaire)

A RETENIR

Les phénomènes de stratification importants dans les bouteilles de découplage sont dus principalement au rapport hauteur sur diamètre important qui est de 6 sur une bouteille de découplage. Le décalage des canalisations a un impact assez limité sur ce phénomène.



▲ Figure 15 : Simulation de la répartition des vitesses (en m/s) dans une bouteille de découplage (sur-débit de 10 % au primaire)



▲ Figure 16 : Simulation de la répartition des vecteurs vitesses dans une bouteille de découplage (sur-débit de 10 % au primaire)



2.6. • Utilisation de diffuseurs

Le phénomène de brassage qui se produit dans les volumes tampons à quatre piquages est principalement causé par la vitesse importante des jets entrants. Plus elle est élevée et plus le volume tampon est homogène. Ce phénomène va à l'encontre de la stratification.

La vitesse des jets entrants peut être réduite en augmentant la section d'entrée des jets dans le volume tampon :

- soit en augmentant la section des raccordements ;
- soit en installant des brise-jets.

L'augmentation de la section des raccordements (par augmentation de leur diamètre) d'un rapport 2 permet de diminuer très faiblement la baisse de température entre entrée usage et sortie production. Cette solution, difficile à mettre en œuvre car elle doit être adaptée au cas par cas en fonction de l'installation, n'est pas viable, ni pour les fabricants, ni pour les installateurs.

Dans la gamme des brise-jets, il existe principalement deux familles de diffuseurs :

- les disques radiaux (plaque circulaire insérée dans le volume tampon) s'installent sur une section droite du volume tampon. Le meilleur compromis serait un disque à couronne extérieure pleine et perforée en son centre, ce qui permettrait une circulation de fluide de la partie inférieure à la partie supérieure dans la zone où les vitesses de circulation sont les plus faibles (soit au centre de volume tampon). Ce type de brise-jet demande des techniques de mise en place et de dimensionnement particulières (soudure du disque, calcul du nombre et de la taille des perforations, détermination de la hauteur d'installation de la plaque,...) ;
- les diffuseurs radiaux (dispositifs intrusifs modifiant la géométrie d'entrée du jet dans le volume tampon) constitués d'une entrée à plaque parallèle sont simples de conception et d'installation. Ils permettent de diminuer à la fois la vitesse des jets entrants et de répartir la direction des jets sur l'ensemble d'une section droite du volume tampon.

Des simulations ont été menées sur un volume tampon à quatre piquages de 300 litres équipé d'un diffuseur radial tel que décrit ci-avant : l'introduction d'eau chaude en provenance de la production est faite par le haut entre deux plaques parallèles.

La hauteur du volume tampon est de 1,15 mètre et son diamètre de 0,57 mètre. Les raccordements sont situés dans le même plan.

Dans les simulations, le débit au primaire est supérieur de 10 % au débit au secondaire.



La (Figure 17), la (Figure 18) et la (Figure 19) présentent respectivement les répartitions de températures, des vitesses et des vecteurs vitesses au sein du volume tampon résultant des simulations.

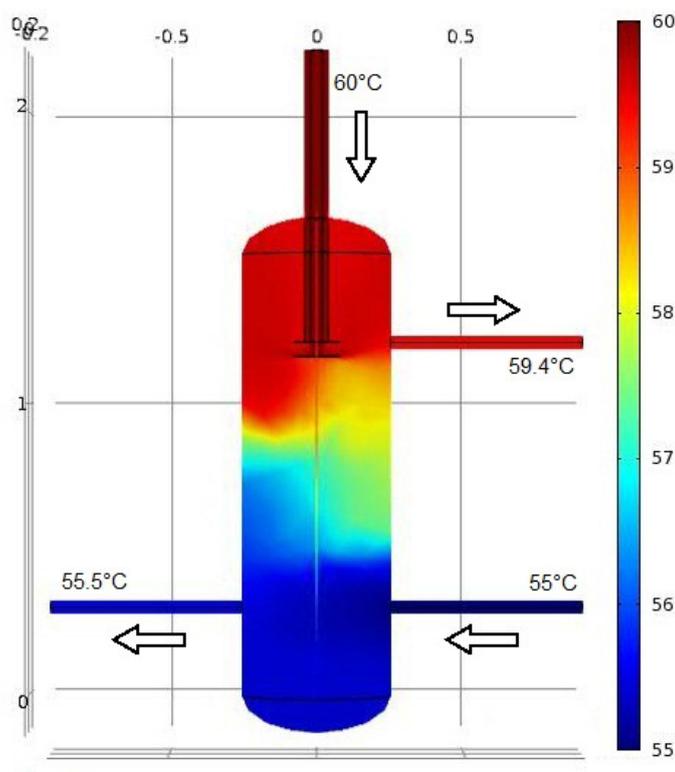
L'installation du brise-jet à plaques parallèles induit une stratification visible dans le volume tampon qui est proche de celle constatée dans une bouteille de découplage (voir chapitre [2.5]). L'effet de mélange, observé par exemple en (Figure 2) en absence de brise jet, a disparu.

Avec le brise-jet, l'augmentation de la section d'entrée du jet a permis de diviser par environ cinq la vitesse du jet entrant. L'orientation du jet du centre du volume tampon vers les parois ne pose pas de difficulté particulière liée à la faible distance à la paroi car les vitesses sont faibles.

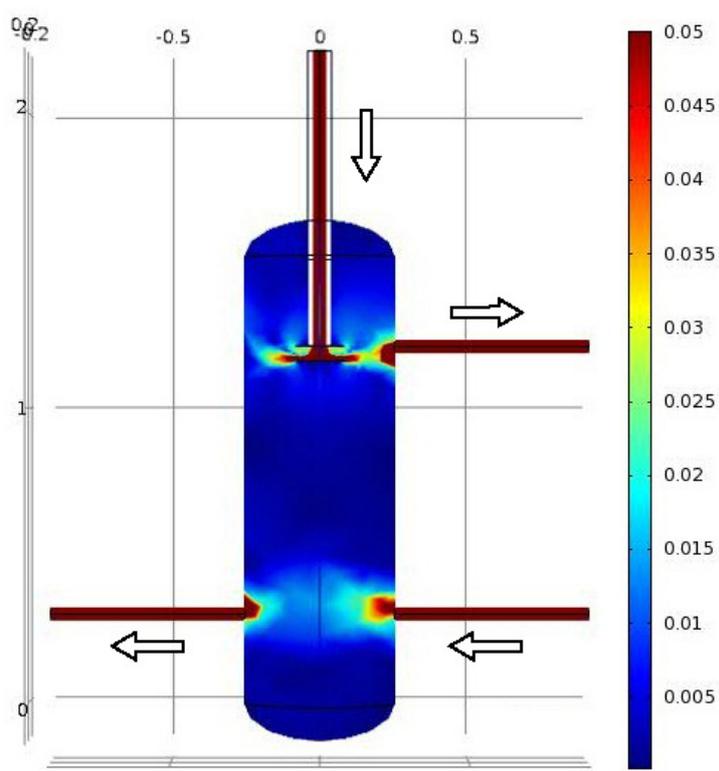
L'analyse des profils des très faibles vitesses rencontrées au sein du volume tampon montre que les flux d'eau chaude en partie supérieure et froide en partie basse ne se mélangent quasiment pas.

A RETENIR

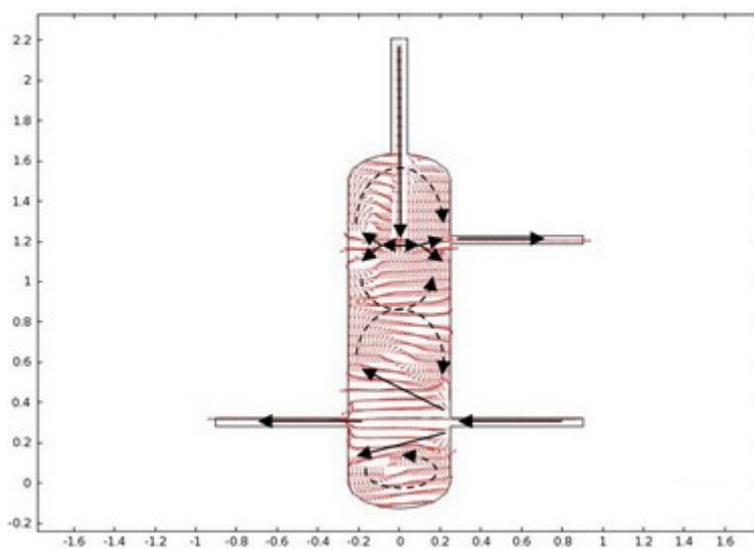
L'installation du brise-jet à plaques parallèles induit une stratification visible dans le volume tampon, comme dans une bouteille de découplage. L'effet de mélange n'existe plus.



▲ Figure 17 : Simulation de la répartition des températures (en °C) dans un volume tampon avec un brise-jet à plaques parallèles sur le jet entrant



▲ Figure 18 : Simulation de la répartition des vitesses (en m/s) dans un volume tampon avec un brise-jet à plaques parallèles sur le jet entrant



▲ Figure 19 : Simulation de la répartition des vecteurs vitesses dans un volume tampon avec un brise-jet à plaques parallèles sur le jet entrant

Les volumes tampons à deux piquages

3



Les simulations ont été menées sur un volume tampon à deux piquages de 200 litres présentant une hauteur de 1,02 mètre et un diamètre de 0,50 mètre, représentatif d'un modèle du commerce.

Deux configurations ont été simulées :

- entrée en partie basse et sortie en partie haute (Figure 20) ;
- entrée en partie haute et sortie en partie basse (Figure 21).

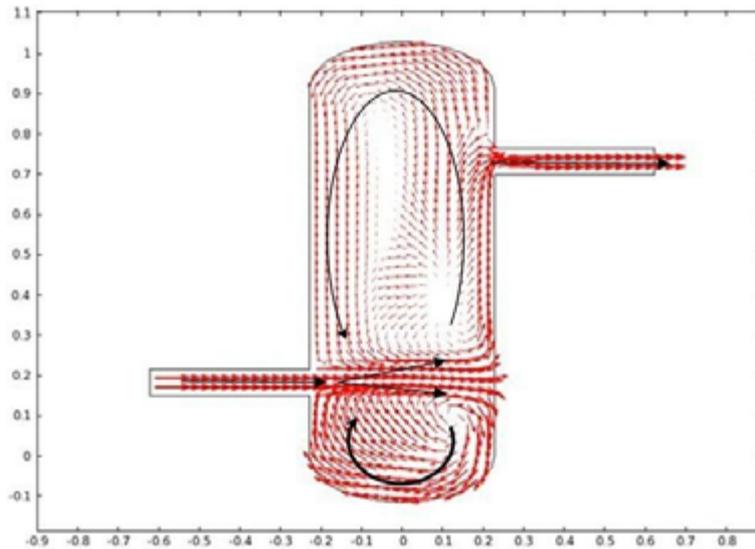
Configuration avec l'entrée en partie basse et la sortie en partie haute

La (Figure 20), qui présente les vecteurs vitesses, montre l'effet de « jet » du fluide entrant en bas à gauche, induisant un flux sous la forme d'un cône. La section est augmentée notablement : elle passe du diamètre du raccordement à la hauteur du volume tampon.

Le jet conique va percuter la paroi opposée. De fait, une partie du fluide va circuler sur le fond du volume tampon en réalisant un vortex (effet de tourbillon). L'autre partie du fluide, quant à elle, va longer la paroi opposée au jet entrant vers le haut du volume tampon. Une grande partie du fluide en circulation dans cette zone va être aspirée par le circuit côté usage. Le fluide restant réalise un vortex dans la partie située au dessus du jet entrant.

A RETENIR

La mise en place d'un pot de décantation sur un volume tampon à deux piquages avec entrée en partie basse n'est pas satisfaisante puisque le jet entrant brasse le fond du volume tampon. Dans le cas simulé, les vitesses à cet endroit sont de l'ordre de 0,14 m/s. Par contre, en partie haute du volume tampon, les vitesses sont très faibles et propices à l'installation d'un purgeur d'air.



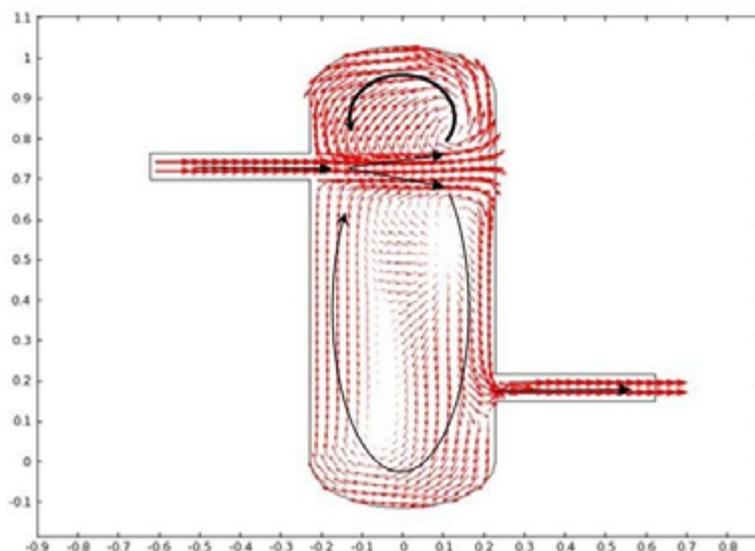
▲ Figure 20 : Visualisation des vecteurs vitesses d'un volume tampon à deux piquages (échelle logarithmique accentuée des vecteurs). La sortie production est raccordée en partie basse et l'entrée usage en partie haute

Configuration avec l'entrée en partie haute et la sortie en partie basse

Comme le montre la (Figure 21), les vitesses élevées sont rencontrées en sommet de volume tampon, engendrant des difficultés de séparation d'air.

A RETENIR

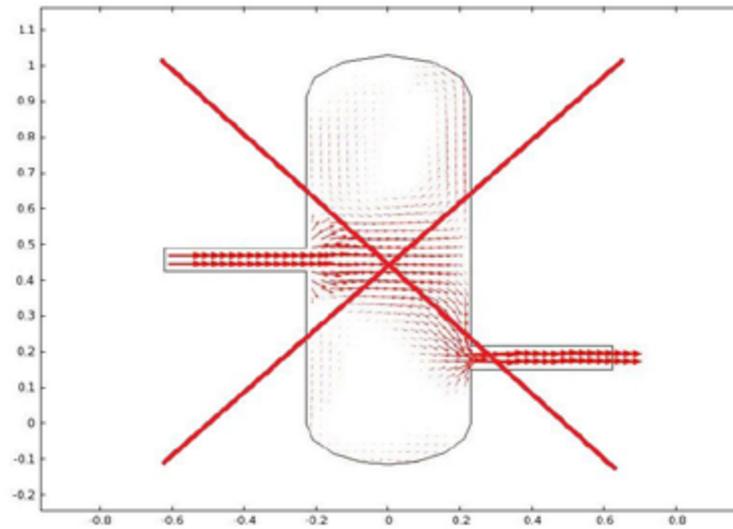
Dans le cas d'un volume tampon à deux piquages avec entrée en partie haute, le jet entrant brasse le haut du volume tampon ce qui peut rendre difficile le dégazage. Il convient donc de prévoir une bouteille de réduction des vitesses raccordée à un purgeur d'air en partie supérieure du volume tampon. Au fond du volume tampon, les vitesses sont faibles et propices à la décantation des particules solides.



▲ Figure 21 : Visualisation des vecteurs vitesses d'un volume tampon à deux piquages (échelle logarithmique accentuée des vecteurs). La sortie production est raccordée en partie haute et l'entrée usage en partie basse

La (Figure 22) montre des simulations effectuées sur un volume tampon dont l'entrée se situe en partie centrale et la sortie en partie basse.

Ce montage n'est pas conseillé car le volume tampon n'est alors plus brassé, il ne joue plus son rôle de stockage. Le volume utile est réduit. Les zones en partie supérieure et inférieure constituent des volumes morts.



▲ Figure 22 : Visualisation des vecteurs vitesses d'un volume tampon à deux piquages (échelle logarithmique accentuée des vecteurs). L'entrée se situe en partie centrale et la sortie en partie basse. Ce montage est à déconseiller.



L'isolation du volume tampon

4



La (Figure 23) montre l'évolution des pertes thermiques d'un volume tampon de 300 litres (rapport hauteur sur diamètre de 3) entièrement calorifugé pour un écart de température entre l'eau et l'ambiance de 40 K en fonction de l'épaisseur d'isolant.

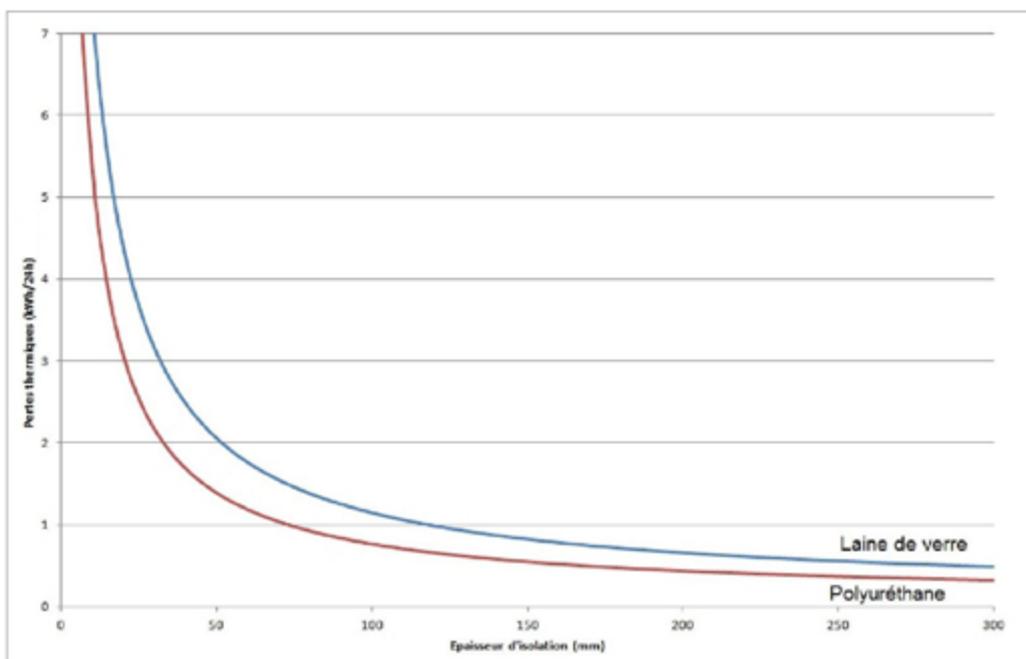
Les calculs sont effectués pour deux isolants courants :

- la laine de verre (conductivité de 0,038 W/(m.K)) ;
- le polyuréthane (conductivité de 0,025 W/(m.K)).

Comme on le constate sur la (Figure 23), une épaisseur d'isolant de 100 mm semble constituer un optimum. Pour cette épaisseur, les pertes journalières sont d'environ 1,16 kWh pour de la laine de verre et d'environ 0,76 kWh pour du polyuréthane, soit un écart conséquent entre ces deux isolants.

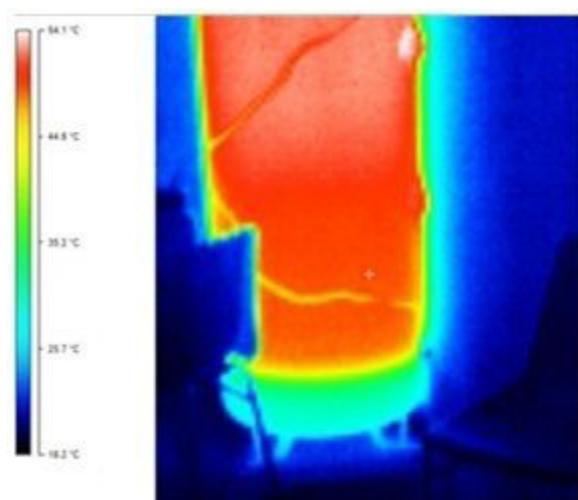
A RETENIR

Il est conseillé de calorifuger le volume tampon avec une épaisseur d'isolant de 100 mm et de préférer le polyuréthane à la laine de verre.



▲ Figure 23 : Evolution des pertes thermiques journalières d'un volume tampon de 300 litres avec un rapport hauteur sur diamètre de 3 en fonction de l'épaisseur d'isolant pour de la laine de verre et du polyuréthane (pour un écart de température de 40 K entre l'ambiance et l'eau)

La (Figure 24) montre la thermographie d'un volume tampon dont le fond n'est pas calorifugé.



▲ Figure 24 : Thermographie du bas du volume tampon : mise en évidence de la nécessité de calorifuger le fond du volume tampon

A RETENIR

Il est important que toute la surface du volume tampon soit calorifugée. En effet, les pertes thermiques peuvent être multipliées par trois si le fond du volume tampon n'est pas isolé (par rapport au même volume entièrement calorifugé).

Penser à isoler du sol les supports de pose des volumes tampons : patins, supports en matériaux conducteurs,...

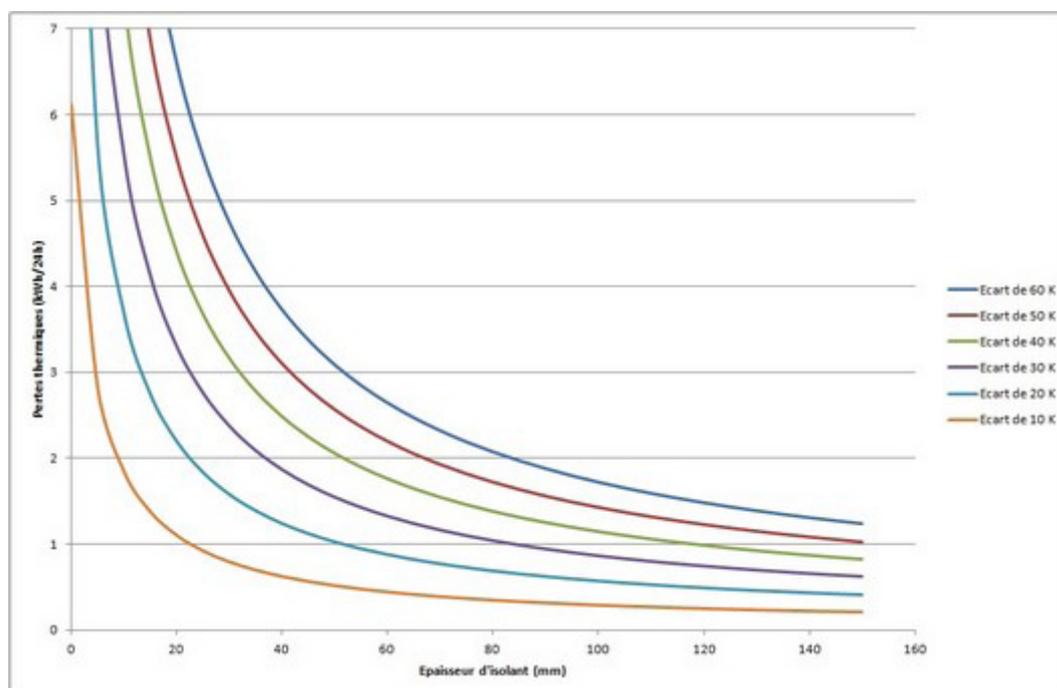
Penser à isoler les raccords connectés et à utiliser des bouchons isolés dans le cas où ils ne sont pas utilisés.



Les pertes thermiques d'un volume tampon dépendent de la différence de température entre l'eau contenue dans le volume tampon et l'ambiance. La (Figure 25) montre l'impact de l'écart de température pour un volume tampon de 300 litres (rapport hauteur sur diamètre de 3) complètement calorifugé.

Pour une ambiance à 20 °C, les pertes thermiques avec une isolation avec 100 mm de laine de verre sont ainsi de :

- 0,29 kWh par jour pour un stockage d'eau à 30 °C ;
- 0,86 kWh par jour pour un stockage d'eau à 50 °C ;
- 1,16 kWh par jour pour un stockage d'eau à 60 °C ;
- 1,72 kWh par jour pour un stockage d'eau à 80 °C.



▲ Figure 25 : Evolution des pertes thermiques journalières d'un volume tampon de 300 litres avec un rapport hauteur sur diamètre de 3 en fonction de la différence entre la température moyenne de l'eau contenue dans le volume tampon et la température ambiante (volume entièrement calorifugé avec de la laine de verre)

Les volumes tampons sur les installations de pompe à chaleur

5



5.1. • Dimensionnement du volume tampon

Dans les notices techniques des pompes à chaleur, les constructeurs spécifient le volume d'eau minimal du réseau auquel doit être raccordée la machine. Ce volume permet d'assurer une inertie suffisante et de maintenir un temps de fonctionnement minimal du compresseur.

Le volume d'eau du réseau doit pouvoir emmagasiner l'énergie fournie par la pompe à chaleur durant son temps minimal de fonctionnement, fourni dans les notices constructeurs. Ce temps est généralement compris entre 6 et 10 minutes et est de l'ordre de 20 minutes chez certains constructeurs.

Lorsque la contenance du réseau est insuffisante, un volume tampon doit être installé pour respecter le volume d'eau minimal demandé par le constructeur.

La contenance du volume tampon doit ainsi correspondre au volume d'eau minimal demandé auquel peut être soustrait la contenance du réseau.

La contenance du volume tampon (en litre) s'exprime par la formule ¹ suivante :

$$\frac{\text{PuissancePac} \times \text{TempsFonctionnementMini} \times 1000}{\rho \times \text{Cp} \times \text{DifférentielRégulation}} - \text{ContenanceRéseau}$$

Avec :

- PuissancePAC : la puissance calorifique du régime le plus faible de la pompe à chaleur, en kW.

¹ Formule à utiliser en absence de préconisations du constructeur.



- TempsFonctionnementMini : le temps minimal de fonctionnement, en seconde. A défaut d'autre valeur, une durée de 360 secondes (6 minutes) sera retenue.
- DifférentielRégulation : le différentiel de régulation de la pompe à chaleur, en Kelvin. A défaut d'autre valeur, un différentiel de 5 K sera retenu.
- Cp : la capacité thermique massique du fluide caloporteur de l'installation de chauffage (égale à 4,185 pour de l'eau pure non glycolée), en kJ/(kg.K).
- ρ : la masse volumique du fluide caloporteur de l'installation de chauffage (égale à 1000 pour de l'eau pure non glycolée), en kg/m³.
- ContenanceRéseau : la contenance de l'installation de chauffage, en litre.

Pour une pompe à chaleur air/eau, à défaut d'une valeur connue dans des conditions de mi-saison, la puissance nominale considérée sera celle indiquée dans la notice pour les conditions de 7 °C de température extérieure et de 35 °C de température d'eau.

Pour une pompe à chaleur à variation de puissance « Inverter », à défaut de valeur fournie par le constructeur, la puissance calorifique réduite au régime le plus faible de la pompe à chaleur peut être considérée de 30 % de la puissance calorifique nominale (limite en dessous de laquelle la machine fonctionne en tout ou rien).

Dans le cas de pompes à chaleur à deux compresseurs, la puissance calorifique à prendre en compte est celle du compresseur qui fonctionne à une température extérieure de 7 °C afin d'obtenir une température d'eau de 35 °C.

En première approche, pour une pompe à chaleur respectivement tout ou rien et à variation de puissance, les tableaux de la (Figure 26) et de la (Figure 27) fournissent la contenance du volume tampon déterminée pour un temps de fonctionnement minimal de 6 minutes et un différentiel de régulation de 5 K (hors contenance du réseau).

Puissance de la PAC (en kW) aux conditions 7°C/35 °C	4	6	8	10	12	14	16
Contenance du volume tampon (en l)	70	100	140	170	200	240	280

▲ Figure 26 : Pré-détermination de la contenance du volume tampon pour une pompe à chaleur air/eau tout ou rien (hors contenance du réseau)

Puissance de la PAC (en kW) aux conditions 7°C/35 °C	4	6	8	10	12	14	16
Puissance réduite à 30 % pour une PAC « Inverter » (en kW)	1,2	1,8	2,4	3,0	3,6	4,2	4,8
Contenance du volume tampon (en l)	20	30	40	50	60	70	80

▲ Figure 27 : Pré-détermination de la contenance du volume tampon pour une pompe à chaleur air/eau à puissance variable « Inverter » (hors contenance du réseau)

5.2. • *Choix et implantation*

Les volumes tampons à quatre piquages sont le siège de phénomènes parasites (brassage, bi-circulation, ...) qui conduisent à un abaissement de la température de départ usage et une élévation de la température en entrée de pompe à chaleur.

Leur conception doit respecter certaines règles énoncées au chapitre (voir chapitre [2]). Le sur-débit au primaire doit être limité.

Les simulations montrent un passage direct des flux dans le volume tampon à quatre piquages qui laisse à penser que tout le volume ne contribue pas à assurer l'inertie nécessaire.

Il est à noter que ces volumes tampons nécessitent un circulateur supplémentaire au primaire (en comparaison aux volumes tampons à deux piquages placés directement en entrée ou en sortie de production).

Ils permettent toutefois le découplage hydraulique entre le primaire et le secondaire garant de la stabilité du débit nominal dans la pompe à chaleur.

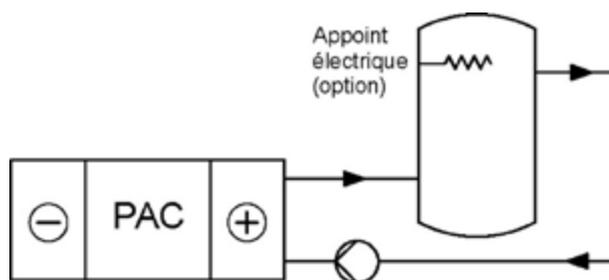
Les volumes tampons à deux piquages peuvent être implantés :

- en sortie de la pompe à chaleur ;
- en entrée de la pompe à chaleur.

L'implantation du volume tampon à deux piquages en sortie de pompe à chaleur (Figure 28) est recommandée afin de limiter les incidences du dégivrage par inversion de cycle du compresseur qui font chuter la température en sortie de pompe à chaleur et donc au départ du circuit usage.

Cet emplacement s'impose également si le volume tampon intègre un appoint électrique. Dans ce cas particulier, une implantation en entrée de pompe à chaleur ne permet pas d'assurer la priorité de fonctionnement de la pompe à chaleur et l'élévation de température en entrée de machine risque d'engendrer des cycles courts et donc des dysfonctionnements.

Il est préférable de réaliser l'entrée dans le volume tampon en partie basse et la sortie en partie haute pour favoriser une montée en température plus rapide de l'installation. La stratification permet un départ vers l'installation plus chaud. De plus, les vitesses en partie haute du volume tampon sont propices à l'installation d'un purgeur d'air (voir chapitre [3]).

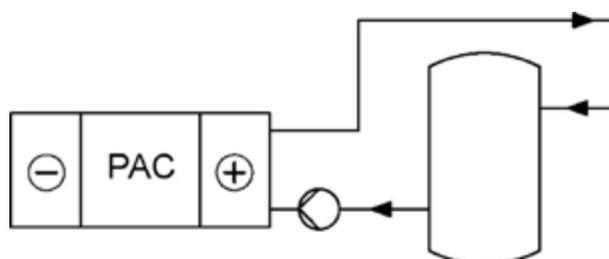


▲ Figure 28 : Schéma de principe d'implantation du volume tampon à deux piquages en sortie de pompe à chaleur

Si le dégivrage est assuré par un autre moyen que l'inversion de cycle, tel que l'injection de gaz chauds, le volume tampon peut être implanté en entrée de la pompe à chaleur (Figure 29), à condition qu'il n'intègre pas d'appoint électrique (cas des pompes à chaleur géothermiques).

A cet endroit, les pertes thermiques du volume tampon sont réduites et la température en entrée de pompe à chaleur est plus stable, ce qui est favorable à la régulation lorsqu'elle porte sur cette grandeur. Par ailleurs, la température en entrée du circuit usage est identique à la température de sortie de pompe à chaleur en l'absence de volume tampon en sortie de pompe à chaleur.

Dans ce cas, l'entrée dans le volume tampon devra de préférence être en partie haute et la sortie en partie basse afin de favoriser la stratification dans le volume tampon et donc d'améliorer les performances de l'unité par un retour plus froid lors de la montée en température de l'installation (voir chapitre [3]).



▲ Figure 29 : Schéma de principe d'implantation du volume tampon à deux piquages en entrée de pompe à chaleur

NOTA

Des schémas de principe hydrauliques complets sont fournis dans les autres productions du programme RAGE 2012 relatives aux installations de pompes à chaleur.

Les volumes tampons sur les installations bois

6



Le volume tampon recommandé sur les installations de chaudières bois permet un stockage de l'énergie dégagée par la charge de bois afin d'éviter des excès de puissance sur les circuits usages, notamment de chauffage.

6.1. • Dimensionnement du volume tampon

La formule ¹ de dimensionnement du volume tampon (en litre) préconisée pour les chaudières au bois est la suivante (hors contenance du réseau) :

$$\frac{3,6 \times Q_{\text{EnergieBois}} \times 1000}{\rho \times C_p \times \text{DifférenceTempérature}}$$

Avec :

- $Q_{\text{EnergieBois}}$: l'énergie dégagée durant la combustion d'une charge de bois pour les chaudières manuelles ou d'un cycle pour les chaudières automatiques, en kWh.
- $\text{DifférenceTempérature}$: la différence de température entre les points haut et bas du volume tampon, en Kelvin.
- C_p : la capacité thermique massique du fluide caloporteur de l'installation (égale à 4,185 pour de l'eau non glycolée), en kJ/(kg.K).
- ρ : la masse volumique du fluide caloporteur de l'installation de chauffage (égale à 1000 pour de l'eau pure non glycolée), en kg/m³.

¹ Formule à utiliser en absence de préconisations du constructeur.



La différence de température entre les points haut et bas du volume tampon est généralement déterminée à partir des températures d'entrée et de sortie de production. Par défaut, avec une chaudière bois, la température de sortie production retenue est de l'ordre de 85 °C. Les valeurs de différence sont donc de :

- 50 K si de l'eau chaude sanitaire est produite par bain-marie (le bas du volume tampon est alors à une température de 35 °C) ou si un plancher chauffant est alimenté. C'est la valeur habituellement retenue ;
- 45 K si l'eau chaude sanitaire n'est pas produite par bain-marie et si un réseau de radiateurs à basse température est alimenté ;
- 20 K si l'eau chaude sanitaire n'est pas produite par bain-marie et si un réseau de radiateurs est alimenté.

Notons que plus la température de sortie de la partie usage (ou d'entrée production) est basse, plus le volume tampon est efficace puisque l'on pourra mieux profiter de l'énergie stockée.

Si la température de sortie de la partie usage (ou d'entrée production) est trop élevée, la contenance du volume tampon doit être plus importante car la différence de température est alors plus faible.

Toutefois, dans le cas des installations bois, il convient d'éviter des températures d'eau trop basses en entrée de production afin de ne pas engendrer des désordres sur le corps de chauffe de la chaudière (condensation acide).

L'énergie à stocker dans le volume tampon est l'énergie dégagée par une charge de bois. Elle est déterminée par l'une des formules suivantes selon la donnée connue :

$$QEnergieBois = Rendement \times MasseBois \times PCI$$

$$QEnergieBois = Rendement \times VolumeBois \times PCI$$

$$QEnergieBois = DuréeCombustion \times PuissanceNominale$$

Avec :

- QEnergieBois : l'énergie dégagée par une charge de bois, en kWh.
- Rendement : le rendement de la chaudière, en pourcentage.
- MasseBois : la masse d'une charge de bois, en kilogramme.
- VolumeBois : le volume d'une charge de bois, en mètre cube.
- PCI : le pouvoir calorifique inférieur du bois, en kWh par kilogramme ou mètre cube de bois. Il est en moyenne de 1 600 kWh/m³.
- DuréeCombustion : la durée de combustion d'une charge de bois, en heure.
- PuissanceNominale : la puissance nominale de la chaudière, en kW.

Les rendements moyens des chaudières bois en fonction du type de combustion sont les suivants :

- 83 % pour une chaudière turbo-bois ;
- 58 % pour une chaudière à tirage naturel à combustion montante ;
- 68 % pour une chaudière à tirage naturel à combustion horizontale ;
- 73 % pour une chaudière à tirage naturel à combustion inversée.

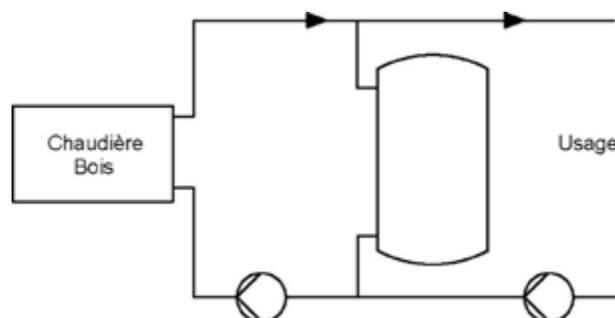
Les constructeurs fournissent en général la contenance du volume tampon à associer à la chaudière bois. Les ratios varient de 40 à 55 l / kW pour les chaudières bois à chargement manuel. La contenance est moindre pour des chaudières automatiques modulantes.

6.2. • *Choix et implantation*

Couplé aux systèmes où une forte stratification est recherchée, le volume tampon à deux piquages monté en hydroaccumulation bois sera préféré (Figure 30).

En effet, le montage du volume tampon à deux piquages dans cette configuration permet de découpler la partie production et la partie usage tout en évitant les phénomènes parasites. Ce découplage est nécessaire dans le cas d'un générateur au bois car l'énergie dégagée par la combustion doit pouvoir être dissipée et stockée (et de préférence réutilisée), même lorsqu'aucun besoin n'est requis. De plus, lorsque les circulateurs des circuits sont en fonctionnement, les vitesses au sein du volume tampon sont réduites et la stratification est augmentée. Enfin, la température de l'eau en entrée d'usage est égale à la température de l'eau en sortie de production lorsque le débit côté production est supérieur au débit côté usage.

Par rapport au volume tampon à quatre piquages, ce montage permet une meilleure stratification car la circulation de fluide au sein du volume tampon ne se fait que dans un seul sens (une entrée et une sortie) et est plus faible lorsque les circuits production et usage fonctionnent simultanément (le débit dans le volume tampon est donc égal à la différence des débits de production et d'usage).



▲ Figure 30 : Schéma de principe d'un volume tampon à deux piquages monté en hydroaccumulation bois

NOTA

Des schémas de principe hydrauliques complets sont fournis dans les autres productions du programme RAGE 2012 relatives aux installations au bois.

PARTENAIRES du Programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 »

- Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME) ;
- Association des industries de produits de construction (AIMCC) ;
- Agence qualité construction (AQC) ;
- Confédération de l'artisanat et des petites entreprises du bâtiment (CAPEB) ;
- Confédération des organismes indépendants de prévention, de contrôle et d'inspection (COPREC Construction) ;
- Centre scientifique et technique du bâtiment (CSTB) ;
- Électricité de France (EDF) ;
- Fédération des entreprises publiques locales (EPL) ;
- Fédération française du bâtiment (FFB) ;
- Fédération française des sociétés d'assurance (FFSA) ;
- Fédération des promoteurs immobiliers de France (FPI) ;
- Fédération des syndicats des métiers de la prestation intellectuelle du Conseil, de l'Ingénierie et du Numérique (Fédération CINOV) ;
- GDF SUEZ ;
- Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie ;
- Ministère de l'Égalité des Territoires et du Logement ;
- Plan Bâtiment Durable ;
- SYNTEC Ingénierie ;
- Union nationale des syndicats français d'architectes (UNSFA) ;
- Union nationale des économistes de la construction (UNTEC) ;
- Union sociale pour l'habitat (USH).

Les productions du Programme « Règles de l'Art Grenelle Environnement 2012 » sont le fruit d'un travail collectif des différents acteurs de la filière bâtiment en France.



CONCEPTION
ET DIMENSIONNEMENT
DES VOLUMES TAMPONS

FÉVRIER 2013

Ce rapport d'étude présente les règles de bonnes pratiques de conception des volumes tampons mono-énergie, sans échangeur, implantés sur les installations individuelles de chauffage mettant en œuvre des énergies renouvelables :

- volumes tampons à quatre piquages ;
- volumes tampons à deux piquages.

Il apporte notamment des réponses aux questions suivantes :

- Quel est le rapport hauteur/diamètre conseillé pour un volume tampon à quatre piquages ?
- Est-il utile de décaler les canalisations (comme sur une bouteille de découplage) ? Peut-on les placer à 90° ?
- Où implanter un volume tampon à deux piquages ?
- Quel rapport débit primaire/débit secondaire faut-il respecter pour un volume tampon à quatre piquages ?
- Quelle épaisseur d'isolant adopter ?
- Comment calculer la contenance du volume tampon pour les installations de pompes à chaleur et les installations au bois ?

Les réponses à ces questions s'appuient sur des simulations thermiques permettant d'observer les mouvements de fluide et les variations de température dans les volumes tampons (en régime stationnaire). Le rapport est ainsi largement illustré par des vues en couleur : répartitions de températures, de vitesses.

