



Conception d'une boucle de recirculation d'eau chaude (partie 2)

Étapes de conception (suite)

La première étape de conception, présentée à la fiche précédente (fiche PL-35 parue dans l'IMB de septembre 2013), consistait à évaluer les pertes thermiques d'une boucle de recirculation. Poursuivons maintenant avec le débit minimal que devra fournir la pompe.

2. Débit minimal requis

Le débit minimal requis dans une boucle de recirculation dépend de la perte thermique et de la chute de température admissible. Le débit en question peut être calculé à l'aide de l'équation suivante:

$$Q = \frac{q}{\rho \times c_p \times \Delta t}$$

où:

- Q : débit volumique requis
- q : perte thermique
- ρ : masse volumique de l'eau
- c_p : capacité thermique massique de l'eau
- Δt : chute de température admissible.

Cette équation peut être simplifiée de la manière suivante:

En SI:
$$Q[\text{L/s}] = \frac{q[\text{W}]}{4180 \times \Delta t [^{\circ}\text{C}]}$$

En impérial:
$$Q[\text{usgpm}] = \frac{q[\text{Btu/h}]}{500 \times \Delta t [^{\circ}\text{F}]}$$

Note: les constantes dans les équations ci-dessus sont obtenues en fonction d'une masse volumique de l'eau de 1000 kg/m³ (62,4 lb/pi³) et d'une capacité thermique massique de l'eau de 4180 J/(kg·°C) (1 Btu/(lb·°F)). À titre de rappel, il y a 1000 L dans 1 m³, 60 minutes dans 1 heure et 7,48 gallons US dans 1 pi³.

1 - Une perte de charge (head loss) correspond à une perte de pression (pressure loss) exprimée en hauteur de fluide (ex: mètre de colonne d'eau).

2 - Il n'y a pas de différence de hauteur à considérer puisque l'eau revient à son point de départ dans une boucle fermée.

Le **débit minimal** que doit fournir la pompe peut donc être déterminé à l'aide des équations indiquées dans l'encadré précédent. Dans ce cas, q correspond à la perte thermique totale de l'ensemble du réseau bouclé (calculée à l'étape 1) et Δt correspond à la différence entre la température du chauffe-eau (au moins 60 °C (140 °F)) et la température limite de 55 °C (131 °F).

EXEMPLE (suite): La perte thermique totale du réseau bouclé a été déterminée à l'étape 1 comme étant égale à 1335 W (4555 Btu/h). En supposant que la température de l'eau dans le chauffe-eau soit maintenue à 60 °C (140 °F), le débit minimal que doit fournir la pompe peut être déterminé de la manière suivante.

$$Q[\text{L/s}] = \frac{q[\text{W}]}{4180 \times \Delta t [^{\circ}\text{C}]} = \frac{1335}{4180 \times (60 - 55)} = 0,064 \text{ L/s}$$

La pompe devra donc fournir un débit d'au moins **0,064 L/s (1,0 usgpm)**. Il s'agit d'un débit relativement faible, qui peut s'expliquer par la petite taille du réseau bouclé et par l'épaisseur d'isolant utilisée.

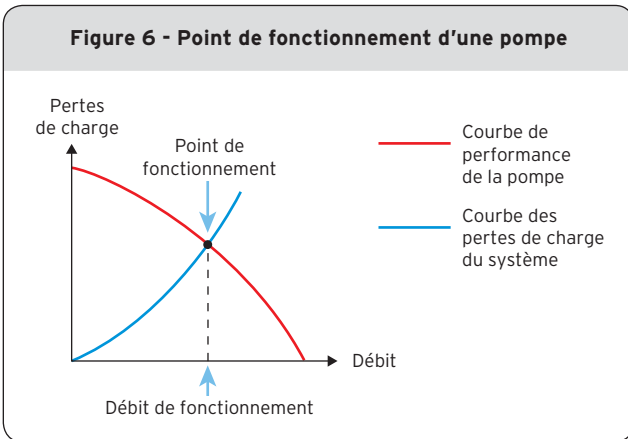
3. Présélection de la pompe

Il est possible de faire une présélection de pompe(s) dès que le débit minimal requis est connu. Cette sélection devra toutefois être validée par la suite en fonction des pertes de charge engendrée par la tuyauterie. Il vaut mieux consulter un fabricant ou un fournisseur de pompes à cette étape.

Le **débit** qu'une pompe est capable de fournir varie en fonction de la **pression** qui lui est imposée: plus cette pression est élevée, plus le débit fourni par la pompe est faible. Cette relation entre la pression et le débit est illustrée sur la **courbe de performance** de la pompe (figure 6 page suivante). Dans une boucle de recirculation, la pression imposée sur la pompe est causée par les **pertes de charge**¹ engendrées par le frottement dans la tuyauterie, les raccords et les accessoires (robinet d'arrêt, etc.)². Ces pertes de charge varient toutefois en fonction du débit dans la tuyauterie. Pour trouver précisément le **point de fonctionnement** (operating point) de la pompe d'une boucle de recirculation, il est nécessaire de tracer la **courbe des pertes de charge** de cette boucle (figure 6). En matière d'efficacité, il est recommandé d'obtenir un point de fonctionnement situé le plus près possible du centre de la courbe de performance de la pompe.



Figure 6 - Point de fonctionnement d'une pompe

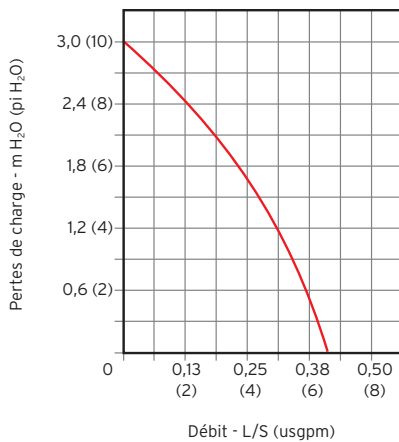


Note : le tracé de la courbe des pertes de charge sera abordé plus en détails à l'étape 5.

Il est essentiel de sélectionner une pompe qui sera en mesure de fournir le débit minimal calculé à l'étape 2. Si la pompe n'arrive pas à fournir ce débit, la température minimale de 55°C ne pourra pas être maintenue dans le réseau bouclé. Rien n'empêche cependant que la pompe fournisse un débit plus élevé que celui calculé à l'étape 2. La tuyauterie de retour devra toutefois être dimensionnée en conséquence.

EXEMPLE (suite): La courbe de performance de la pompe retenue pour l'instant est illustrée à la figure 7. Cette pompe est en mesure de fournir un débit de 0,064 L/s (1,0 usgpm) ou plus, à condition que les pertes de charge (qui seront calculées à l'étape 5) ne soit pas supérieure à 2,7 m H₂O (9 pi H₂O). Le point de fonctionnement optimal pour cette pompe se situe autour de 0,25 L/s (4 usgpm) de débit et 1,65 m H₂O (5,5 pi H₂O) de pertes de charge.

Figure 7 - Courbe de performance de la pompe sélectionnée



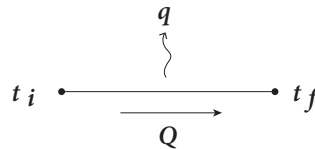
4. Répartition du débit dans les branches

Lorsque le réseau bouclé est constitué de plusieurs branches parallèles, il faut s'assurer de bien répartir le débit dans chacune d'elles (d'où l'importance des robinets d'équilibrage). Il faut généralement prévoir plus de débit dans les branches plus éloignées et dans les branches où il y a plus de pertes thermiques afin que la température soit maintenue au-dessus de la limite de 55°C dans l'ensemble du réseau bouclé. Au final, cette répartition de débit est effectuée sur place lors du balancement, à l'aide d'instruments de mesure. La méthode de calcul suivante permet toutefois d'évaluer approximativement le **pourcentage du débit total** qui devrait être réparti dans chaque branche.

L'équation présentée à l'étape 2 peut être utilisée pour évaluer le débit requis dans chaque branche du réseau bouclé. Il faut toutefois effectuer un calcul supplémentaire afin de déterminer la **température désirée** à chaque **point de jonction** du réseau. Cette étape permet d'évaluer la portion du débit total qui doit être répartie dans chaque branche lors du balancement.

En modifiant l'équation de l'étape 2, il est possible de calculer la température à la sortie (température finale, t_f) d'une section de tuyauterie, lorsque le débit (Q), les pertes thermiques (q) et la température à l'entrée (température initiale, t_i) de cette section sont connus (figure 8).

Figure 8 - Chute de température dans une section de tuyauterie

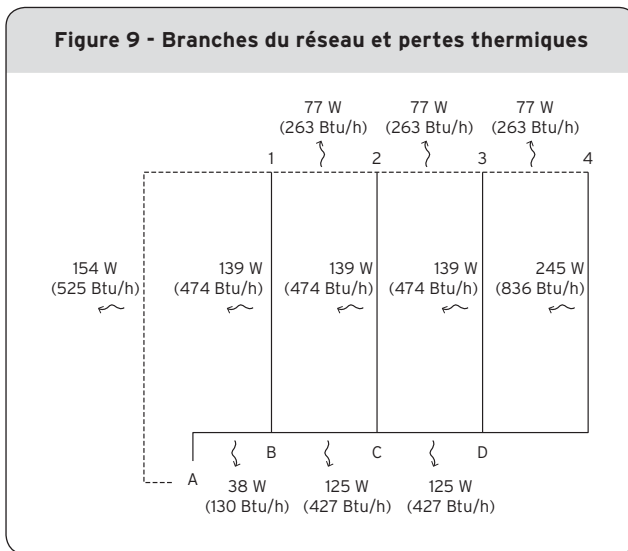


En SI:
$$t_f [^{\circ}\text{C}] = t_i [^{\circ}\text{C}] - \frac{q [\text{W}]}{4180 \times Q [\text{L/s}]}$$

En impérial:
$$t_f [^{\circ}\text{F}] = t_i [^{\circ}\text{F}] - \frac{q [\text{Btu/h}]}{500 \times Q [\text{usgpm}]}$$

EXEMPLE (suite): La perte thermique de chacune des branches est indiquée à la figure 9. Chaque point de jonction est identifié par un chiffre ou par une lettre. Le débit minimal requis de A à B et de 1 à A est déjà connu. Il s'agit du débit calculé à l'étape 2 : 0,064 L/s (1,0 usgpm). La température initiale (t_i) en A est celle maintenue dans le chauffe-eau : 60°C (140°F). La température finale (t_f) en A correspond à la température minimale qui doit être maintenue dans la boucle : 55°C (131°F).

Figure 9 - Branches du réseau et pertes thermiques



Sachant que la perte thermique dans la branche A-B est de 38 W (130 Btu/h), la température en B peut être calculée comme suit :

$$t_f [^{\circ}\text{C}] = t_i [^{\circ}\text{C}] - \frac{q[\text{W}]}{4180 \times Q [\text{L/s}]} = 60 - \frac{38}{4180 \times 0,064} = 59,86 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

À l'inverse, en connaissant la température finale en A, on peut calculer la température initiale en 1, sachant que la perte thermique dans la branche 1-A est de 154 W (525 Btu/h) :

$$t_i [^{\circ}\text{C}] = t_f [^{\circ}\text{C}] + \frac{q[\text{W}]}{4180 \times Q [\text{L/s}]} = 55 + \frac{154}{4180 \times 0,064} = 55,58 \text{ } ^{\circ}\text{C}$$

Notez qu'il est essentiel pour la suite des calculs de conserver des valeurs de température avec au moins 4 chiffres significatifs.

La différence de température est maintenant connue entre B et 1. Il est donc possible de déterminer le débit minimum requis dans cette branche, sachant que sa perte thermique est 139 W (474 Btu/h) :

$$Q[\text{L/s}] = \frac{q[\text{W}]}{4180 \times \Delta t [^{\circ}\text{C}]} = \frac{139}{4180 \times (59,86 - 55,58)} = 0,0078 \text{ L/s}$$

Le débit minimum requis dans la branche B-1 est donc **0,0078 L/s (0,12 usgpm)**, ce qui correspond à 12 % du débit total.

Cette série de calculs est répétée pour chaque branche, afin d'obtenir les résultats présentés aux tableaux 4 et 5.

Tableau 4 - Températures aux points de jonction

Point de jonction	Température	
	°C	°F
B	59,86	139,7
C	59,33	138,8
D	58,69	137,6
4	56,89	134,3
3	56,31	133,4
2	55,91	132,7
1	55,58	132,1

Tableau 5 - Répartition du débit dans les branches

Branche	Débit minimum		% du débit total
	L/s	usgpm	
A-B	0,064	1,0	100 %
B-1	0,0077	0,12	12 %
B-C	0,0563	0,88	88 %
C-2	0,0097	0,15	15 %
C-D	0,0466	0,73	73 %
D-3	0,0140	0,22	22 %
D-4	0,0326	0,51	51 %
4-3	0,0362	0,51	51 %
3-2	0,0466	0,73	73 %
2-1	0,0563	0,88	88 %
1-A	0,064	1	100 %

5. Dimensionnement de la tuyauterie de retour et calcul des pertes de charge

Pour dimensionner la tuyauterie de retour, il faut tenir compte de la **vitesse maximale d'écoulement** permise et des **pertes de charge** engendrées par cette tuyauterie. Notez qu'un plus petit diamètre de tuyauterie résulte en une vitesse d'écoulement et des pertes de charge plus élevées.

La vitesse d'écoulement maximale est généralement fixée à 1,5 m/s (5 pi/s) dans les réseaux de distribution d'eau chaude (plus particulièrement pour la tuyauterie en cuivre). Cette exigence vise à limiter les problèmes de bruit, de turbulence, de coup de bélier, de cavitation, de corrosion et d'érosion liés à des vitesses d'écoulement d'eau trop élevées. La limite de vitesse recommandée en recirculation est généralement encore plus basse, puisque l'eau peut être en circulation pendant plusieurs heures et même plusieurs jours. Dans le cadre de cette fiche *Bonnes Pratiques*, la **vitesse de recirculation maximale** sera fixée à **0,9 m/s (3 pi/s)**. Le tableau 6 présente les débits maximaux admissibles pour différents diamètres de tuyauterie de retour, en fonction de la vitesse de recirculation maximale indiquée. Une présélection de diamètre de tuyauterie de retour peut donc être effectuée à partir du tableau 6, en fonction des débits calculés aux étapes 2 et 4.

Tableau 6 - Débit maximal en fonction du diamètre

Diamètre (po)	Vitesse maximale		Débit maximal	
	(m/s)	(pi/s)	(L/s)	(usgpm)
1/2	0,9	3	0,11	1,8
3/4			0,26	4,1
1			0,46	7,3

Une fois le diamètre sélectionné, il est possible de déterminer les **pertes de charge** dans la tuyauterie. Notez que le calcul des pertes de charge est effectué en fonction du **trajet le plus restrictif** (généralement le trajet le plus long). Ce sont ces pertes que la pompe de recirculation devra vaincre pour maintenir une circulation adéquate dans la tuyauterie. Si ces pertes sont trop élevées pour la capacité de la pompe sélectionnée à l'étape 3, il faudra sélectionner une autre pompe ou augmenter le diamètre de la tuyauterie de manière à réduire les pertes de charge.

Pour la sélection d'une pompe, les pertes de charge sont généralement exprimées en mètre de colonne d'eau (m H₂O) ou en pied de colonne d'eau (pi H₂O). Elles peuvent être calculées à l'aide de différentes équations (équation de Darcy-Weisbach, équation d'Hazen-Williams, etc.). Toutefois, pour limiter le nombre de calculs, l'utilisation d'un tableau sera préconisée dans cette fiche *Bonnes Pratiques*. Le tableau 7 indique les valeurs de pertes de charge en mètre de colonne d'eau par 100 mètres de tuyauterie (m H₂O/100 m) et en pied de colonne d'eau par 100 pieds de tuyauterie (pi H₂O/100 pi) pour différents diamètres de tuyauterie et différents débits³. Notez que, sous cette forme, les valeurs en SI et les valeurs en impérial sont les mêmes.

Tableau 7 - Pertes de charge par longueur de tuyauterie

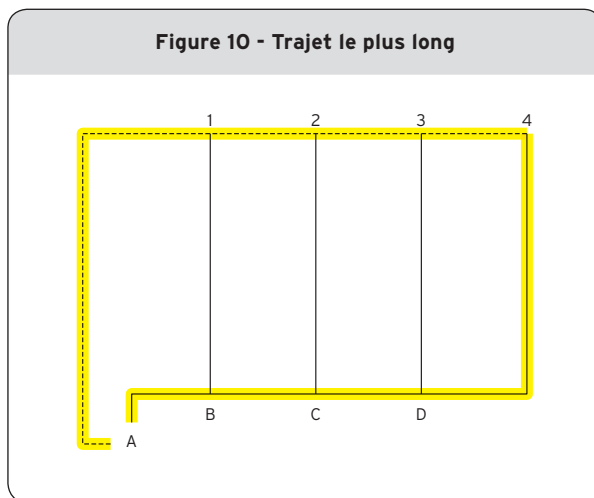
Débit		Perte de charge par longueur de tuyauterie					
		1/2 po		3/4 po		1 po	
L/s	usgpm	m H ₂ O par 100 m	pi H ₂ O par 100 pi	m H ₂ O par 100 m	pi H ₂ O par 100 pi	m H ₂ O par 100 m	pi H ₂ O par 100 pi
0,032	0,5	0,8	0,8	-	-	-	-
0,038	0,6	1,1	1,1	-	-	-	-
0,044	0,7	1,5	1,5	-	-	-	-
0,050	0,8	1,9	1,9	-	-	-	-
0,057	0,9	2,4	2,4	-	-	-	-
0,063	1,0	2,9	2,9	0,4	0,4	-	-
0,095	1,5	6,1	6,1	0,8	0,8	-	-
0,13	2,0	10,3	10,3	1,4	1,4	-	-
0,16	2,5	-	-	2,2	2,2	0,5	0,5
0,19	3,0	-	-	3,0	3,0	0,8	0,8
0,25	4,0	-	-	5,2	5,2	1,3	1,3
0,32	5,0	-	-	7,9	7,9	1,9	1,9
0,38	6,0	-	-	-	-	2,7	2,7
0,44	7,0	-	-	-	-	3,6	3,6
0,50	8,0	-	-	-	-	4,6	4,6

3 - Les valeurs dans ce tableau sont basées sur l'équation d'Hazen-Williams.

Tel qu'indiqué à l'étape 3, il est préférable de tracer une **courbe des pertes de charge** en fonction du débit. Cette courbe peut ensuite être comparée à la courbe de performance de la pompe sélectionnée afin de trouver le **point de fonctionnement** de la pompe. Pour tracer précisément une courbe de pertes de charge, il faut avoir recours à l'une des équations mentionnées plus haut (ex: équation d'Hazen-Williams) et à un ordinateur. Il est toutefois possible de tracer une courbe un peu moins précise à la main, en effectuant quelques calculs de pertes de charge (pouvant se limiter à 3 ou 4) à différents débits.

EXEMPLE (suite): Initialement, pour calculer les pertes thermiques, le diamètre nominal de la tuyauterie de retour avait été estimé à 3/4 po (fiche PL-35). Cependant, une tuyauterie de 1/2 po est suffisante pour le débit minimum requis de 0,064 L/s (1,0 usgpm) (tableau 6). Il est donc possible, dans ce cas-ci, d'envisager de faire toute la tuyauterie de retour en 1/2 po. Il faut toutefois s'assurer que les pertes de charge ne seront pas excessives par rapport à la capacité de la pompe sélectionnée à l'étape 3. La figure 10 illustre le trajet le plus long (trajet surligné) qui sera considéré pour le calcul des pertes de charge.

Figure 10 - Trajet le plus long



Notez que les pertes de charge sont négligeables dans les branches A-B, B-C, C-D et D-4. Il s'agit de la tuyauterie du réseau de distribution d'eau chaude, qui a été dimensionnée pour un débit plus élevé que le débit de recirculation. Le diamètre de cette tuyauterie est par conséquent trop élevé pour engendrer des pertes de charge importantes lorsque l'eau circule au débit prévu pour la recirculation. En fait, seule la section de tuyauterie de 3 m (10 pi) en 3/4 po au bout de la branche D-4 risque d'engendrer des pertes de charge non négligeables. ▶

Les pertes de charge sont donc principalement engendrées par la tuyauterie de retour, c'est-à-dire les branches 4-3, 3-2, 2-1 et 1-A. Ces pertes peuvent être calculées en multipliant la **longueur équivalente** de chaque branche par la valeur appropriée sélectionnée au tableau 7. Dans cet exemple, la longueur équivalente sera déterminée en multipliant la longueur physique de chaque branche par un **facteur de sécurité de 1,5**, pour tenir compte des raccords et des accessoires pouvant engendrer des pertes de charge singulières.

Prenons la branche 4-3 dont la longueur physique est évaluée à 10 m (33 pi). La longueur équivalente utilisée pour le calcul des pertes de charge dans cette branche sera donc de 15 m (49 pi). Il est prévu d'y circuler 0,0326 L/s (0,51 usgpm) dans un diamètre de 1/2 po. Notez que pour un débit de 0,032 L/s (0,5 usgpm) dans une tuyauterie de 1/2 po, les pertes de charge sont de 0,8 m H₂O par 100 m (tableau 7). Les pertes de charge dans cette branche seront donc égales à :

$$15 \text{ m} \times \frac{0,8 \text{ m H}_2\text{O}}{100 \text{ m}} = 0,12 \text{ m H}_2\text{O}$$

Cette opération est répétée pour chacune des branches considérées, pour arriver aux résultats indiqués au tableau 8.

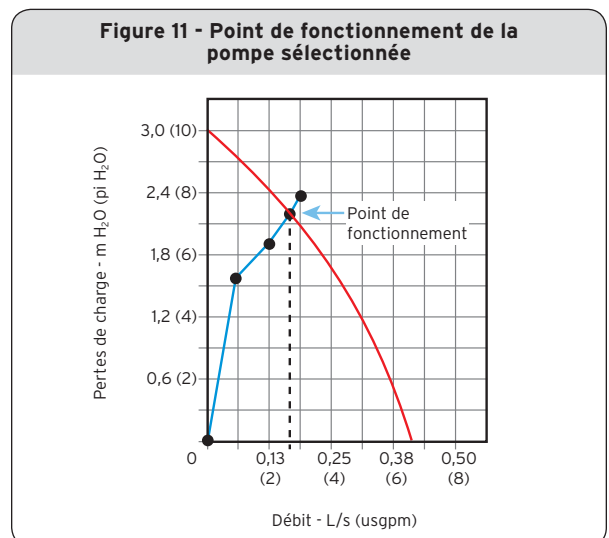
Branche	Diamètre (po)	Débit		Longueur équivalente		Pertes de charge	
		(L/s)	(usgpm)	(m)	(pi)	(mH ₂ O)	(piH ₂ O)
D-4	3/4	0,033	0,51	4,5	15	-	-
4-3	1/2	0,033	0,51	15	49	0,12	0,39
3-2	1/2	0,047	0,73	15	49	0,23	0,74
2-1	1/2	0,056	0,88	15	49	0,36	1,18
1-A	1/2	0,064	1,0	30	98	0,87	2,85
Pertes de charges totales						1,58	5,17

La perte de charge au débit minimum requis est de 1,58 m H₂O (5,17 pi H₂O). La pompe sélectionnée à l'étape 3 pourra donc fournir le débit minimum sans problème. Reste maintenant à déterminer le débit de fonctionnement. Pour cela, il faut répéter le calcul de perte de charge à différents débits au-dessus du débit minimal (tableaux 9 et 10) de manière à obtenir une courbe des pertes de charge. Il faut aussi ajuster le diamètre de la tuyauterie de retour en conséquence, de manière à ne pas dépasser la vitesse maximale de 0,9 m/s (3 pi/s) (tableau 6).

Branche	Diamètre (po)	Débit		Longueur équivalente		Pertes de charge	
		(L/s)	(usgpm)	(m)	(pi)	(mH ₂ O)	(piH ₂ O)
D-4	3/4	0,064	1,0	4,5	15	0,02	0,06
4-3	1/2	0,064	1,0	15	49	0,44	1,43
3-2	1/2	0,092	1,5	15	49	0,92	3,00
2-1	3/4	0,11	1,8	15	49	0,17	0,54
1-A	3/4	0,13	2,0	30	98	0,42	1,38
Pertes de charges totales						1,94	6,35

Branche	Diamètre (po)	Débit		Longueur équivalente		Pertes de charge	
		(L/s)	(usgpm)	(m)	(pi)	(mH ₂ O)	(piH ₂ O)
D-4	3/4	0,096	1,5	4,5	15	0,04	0,12
4-3	1/2	0,096	1,5	15	49	0,92	3,00
3-2	3/4	0,14	2,2	15	49	0,26	0,84
2-1	3/4	0,17	2,6	15	49	0,35	1,13
1-A	3/4	0,19	3,0	30	98	0,90	2,95
Pertes de charges totales						2,42	7,92

Ces résultats peuvent être reportés sur la courbe de performance de la pompe, tel qu'illustré à la figure 11. À la lumière des résultats obtenus, le débit de fonctionnement devrait se situer autour de **0,18 L/s (2,8 usgpm)** et la tuyauterie de retour devrait être effectuée en **3/4 po** (sauf la branche 4-3 qui peut être en 1/2 po) de manière à respecter la vitesse maximale de 0,9 m/s (3 pi/s).



6. Vérification finale

Si le débit de fonctionnement déterminé à l'étape précédente est inférieur au débit minimal requis, il faut obligatoirement sélectionner une autre pompe capable de fournir le débit requis. Si, au contraire, le débit de fonctionnement est beaucoup plus élevé que le débit minimal requis, il est recommandé de sélectionner une autre pompe plus adaptée aux besoins de l'installation (si possible). Même chose si le point de fonctionnement est situé à l'extrémité supérieure ou inférieure de la courbe de performance de la pompe.

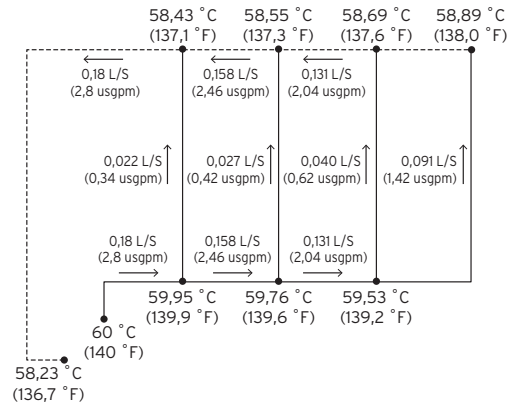
Une fois le débit de fonctionnement déterminé, il est possible de réévaluer le débit désiré dans chaque branche et la température aux différents points de jonction du réseau.

EXEMPLE (suite): La pompe sélectionnée à l'étape 3 est capable de fournir le débit minimal requis sans problème. Elle est même légèrement surdimensionnée, mais elle fera amplement l'affaire en l'absence de modèles mieux adaptés.

La figure 12 indique les débits désirés (idéalement) dans les branches et les températures aux points de jonction en fonction d'un débit de fonctionnement de 0,18 L/s (2,8 usgpm). Dans ces conditions, la température de l'eau est maintenue au-dessus de la limite de 55 °C (131 °F) dans l'ensemble du réseau bouclé.

Pour plus d'informations, n'hésitez pas à communiquer avec le Service technique de la CMMTQ.

Figure 12 - Débits et températures



Ouvrages consultés :

ASHRAE (2007), chapitre 49 « Service Water Heating » dans ASHRAE Handbook - HVAC Applications.

ASHRAE (2009), chapitre 22 « Pipe Sizing » dans ASHRAE Handbook - Fundamentals.

ASPE (2003), chapitre 14 « Recirculating domestic hot water systems » dans Domestic Water Heating Design Manual - 2nd edition.

ASPE (2012), chapitre 5 « Piping Insulation » dans Plumbing Engineering Design Handbook - Vol. 4.

CNRC (2009), section 2.6. « Réseaux d'alimentation en eau potable » à la division B du Code de construction du Québec, Chapitre III - Plomberie, et Code national de la plomberie - Canada 2005 (modifié).

Siegenthaler, John (2012), chapitre 6 « Fluid flow in piping » et chapitre 7 « Hydronic Circulators » dans Modern Hydronic Heating - 3rd edition, éditions Delmar.

N.B. : Lors d'une consultation postérieure à la date de sa publication, il vous revient de vérifier si la présente fiche a été mise à jour, remplacée ou annulée. Cette fiche explicative ne remplace pas, en tout ou en partie, la réglementation en vigueur, soit le Code de construction du Québec.

Toute reproduction est interdite sans l'autorisation de la CMMTQ.