

Conception d'une patinoire avec la boucle de Dumas.

Par **Claude Dumas, ing.**

Introduction :

Cet article a pour objet de sensibiliser les intervenants de l'industrie de la réfrigération, aux défis qu'ils rencontrent, dans la mise en application d'une boucle d'alimentation et de retour du caloporteur, lors de la conception des circuits de l'échangeur de chaleur, enfouis dans une dalle de patinoire réfrigérée. Une version abrégée de l'article a été publiée, dans le périodique, PCCMag de novembre 2021.

Le lecteur sera capable de :

- Décrire trois types, de boucles, utilisées dans l'industrie. (Boucle à retour direct, boucle à retour inversé, boucle alimentée/retournée par son point central).
- Découvrir, les forces et les faiblesses de chaque type de boucle.
- Connaître, la boucle de Dumas, reconnaître ses avantages et comprendre les principes qui expliquent son fonctionnement.

D'entrée de jeux, mentionnons que le passage du caloporteur dans des tubes ou tout autre composant (vanne, échangeur de chaleur) engendre des frottements plus ou moins importants, cette résistance au passage du caloporteur constitue les pertes de charge. Sachant cela, on comprend mieux la nécessité d'équilibrer les débits dans une installation hydraulique. L'équilibrage d'un réseau hydraulique de chauffage, de climatisation de réfrigération, consiste à répartir le débit de la pompe en fonction de la puissance de chaque émetteur ou récepteur (circuit). Pour qu'un débit de caloporteur se répartisse équitablement entre des récepteurs, il faut tout d'abord que ceux-ci aient la même résistance hydraulique ou perte de charge et que leurs raccordements soient géométriquement identiques. Pour cela, on doit réaliser l'installation de sorte que les pertes de charge soient identiques en tout point du réseau ce qui est bien difficile, voire impossible à réaliser. Le débit de caloporteur va augmenter dans les circuits avec une courte longueur de tuyauterie mesurée à partir de la pompe, tandis que l'inverse s'applique aux circuits les plus longs.

Pour compléter cette mise au point, voici la particularité des trois boucles présentées.

Corps

Boucle à retour direct

Au début de l'aire des patinoires réfrigérées, les collecteurs de saumure étaient constitués d'un système bitube à retour direct : un design encore utilisé par certains concepteurs. Dans ce système, la longueur totale des tuyaux entre la pompe et chaque circuit est plus petite pour les circuits les plus proches de la pompe et plus grande, pour les circuits les plus éloignés de la pompe.

Lors de la conception d'un tel système, le manque d'équilibre entre les différents circuits doit être pris en compte tout en reconnaissant qu'il n'y a pas d'équilibrage mécanique durable. Il est à noter que lorsqu'on utilise de la saumure (CaCl₂ + H₂O) comme caloporteur, les vannes de réglage ne doivent pas être utilisées, car c'est une source potentielle de fuites de caloporteur. Elles peuvent aussi se corroder rapidement et cesser de fonctionner.

En résumé, la boucle à retour direct est un design minimaliste, peu performant et mal équilibré.

Boucle de Tichelmann,

Boucle du nom de son inventeur Albert Tichelmann (1861-1926, ingénieur allemand*) a fait son apparition dans la conception des patinoires réfrigérées, dans les années 1990, figure 2.

Elle représentait une amélioration tangible, par rapport à l'usage de la boucle à retour direct. Les différents débits du caloporteur circulant dans les circuits de l'échangeur de chaleur, enfouis dans la dalle réfrigérée, sont mieux équilibrés.

De chaque côté de la ligne de centre de la dalle, les circuits équidistants de ladite ligne, affichent un débit de caloporteur identique – car ils ont une longueur et une géométrie identique – ce qui cadre bien à la définition de la boucle de Tichelmann. Néanmoins c'est différent pour les circuits éloignés du centre de la patinoire, car leur longueur varie, à cause de la présence des quarts-de-cercle, formant les quatre coins – ce qui cadre mal avec la définition de ladite boucle.

Définition de la boucle de Tichelmann.

Les circuits ayant une courte longueur de tuyauterie mesurée à partir de la pompe ont une tuyauterie de retour plus longue. L'inverse s'applique aux circuits les plus éloignés. Cela assure une résistance uniforme et donc un débit de caloporteur mieux équilibré dans les circuits de l'échangeur de chaleur - par conséquent, le débit de caloporteur dans chaque circuit n'a pas besoin d'être ajusté individuellement, lors de la mise en service. Cela entraîne généralement

des longueurs de tuyauterie plus importantes et une géométrie plus complexe. Ladite boucle peut être utilisée dans les applications de chauffage, de climatisation et de réfrigération.

En résumé, la boucle à retour inversé est une conception plus performante et mieux équilibrée que celle d'une boucle à retour direct. La constance dans la longueur du tuyau collecteur jusqu'à la pompe s'avère un facteur important qui tend à contrer le mauvais équilibrage du système, déréglé par la variation de longueur des circuits latéraux.

Boucle de Dumas

Également du nom de son inventeur (l'ingénieur Claude Dumas), la boucle alimentée/retournée par son point central a la particularité d'inclure des T aux points 4 et 8 sur les collecteurs d'alimentation et de retour (voir la *figure 1*). Ces T ont pour fonction de diviser en deux le débit de la pompe et du système de caloporteur lors de son arrivée dans les deux embranchements du collecteur. Cette division du débit permet de diminuer les coûts de construction en réduisant le diamètre du tuyau collecteur.

En effet, deux raccords réducteurs sont installés de chaque côté du T, au point central. Il devient possible de remplacer, sans compromis, 180 pieds de tuyau de 6", par du tuyau de 4", lequel servira à construire les collecteurs d'alimentation et de retour.

La boucle de Dumas se veut une amélioration notable par rapport aux deux autres types de boucles (à retour direct et à retour inversé) en ce sens qu'elle tient compte du fait que les circuits de l'échangeur de chaleur sont de plus en plus courts en approchant des bandes. Le système se balance ainsi naturellement.

En résumé, la boucle alimentée/retournée par son point central est une conception beaucoup plus performante et bien adaptée à la géométrie de l'échangeur de chaleur d'une patinoire réfrigérée - ses circuits s'avèrent mieux équilibrés. Sa conception à 4 passes permet de doubler la Δt , de diviser le débit du caloporteur par deux, de diminuer la consommation d'énergie et la puissance du moteur de la pompe, ainsi que de réduire la quantité de chaleur dégagée par friction dans le caloporteur. Tous ces avantages sont réalisés sans compromis pour la qualité de la glace.

Discussion

Calcul de la longueur de chaque circuit de l'échangeur de chaleur

La longueur des différents circuits de l'échangeur de chaleur enfouis dans la dalle réfrigérée d'une patinoire de dimension standard (mesurant 200' x 85' x R=28'), a été évaluée au moyen d'un tableur, programmé pour reproduire la géométrie d'une dalle réfrigérée standard nord-américaine, ayant un espacement de 4" c/c entre passes, prenant en compte le calcul de la Sagitta du demi-cercle formé par l'addition des deux quarts de cercle, indexé pour la position relative, de chaque passe de tuyau, par rapport à la passe #1 située en dessous de la bande, jusqu'à et incluant la passe #256 en dessous de la bande opposée. La dalle comprend 256 passes de tuyaux de 1"Ø configurées en 64 circuits de 4 passes. La précision des calculs de la longueur des circuits de l'échangeur de chaleur est $\pm 1'$.

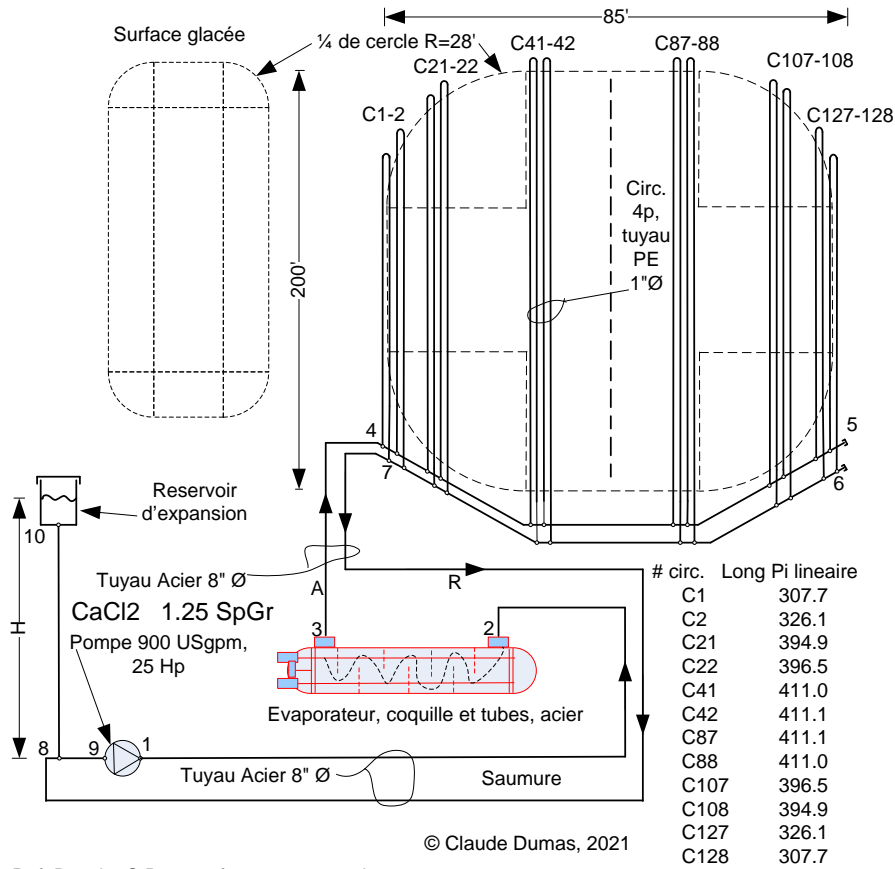
Boucle à retour direct.

Dans un système bitube à retour direct, figure 1, la longueur totale des tuyaux, entre la pompe et chaque circuit, est plus courte pour les circuits les plus proches de la pompe (circuit C1) et plus longue, pour les circuits les plus éloignés (circuit C128).

Pour cette raison, la pression différentielle, appliquée aux différents circuits, sera beaucoup plus élevée, entre les points 4 et 7, là où est situé le premier circuit C1, sous la bande, car il est le plus rapproché de la pompe, un circuit doublement affecté, car il est aussi le plus court. Les circuits qui se succèdent seront de moins en moins affectés, car la longueur de chaque circuit progresse jusqu'au centre, des quarts-de-cercle (circuit C41). La longueur des circuits C42 à C87 dans la partie centrale de la dalle est identique, tandis que la longueur des circuits est décroissante, à partir, du centre des quarts-de-cercle (circuit C88), jusqu'au circuit le plus éloigné (circuit C128), situé sous la bande opposée. La pression différentielle appliquée au dernier circuit, entre les points 5 et 6, est la plus faible du système collecteur, coïncidant avec le dernier circuit, dont la longueur est identique au premier circuit. Les circuits C1 à C41, sont suralimentés, car la pression différentielle maximale dans le collecteur, est appliquée au circuit, le plus court (C1) et régresse hors de phase avec les circuits de plus en plus longs, jusqu'au circuit C41.

Les circuits C42 à C87 seront en meilleur équilibre, car la longueur des circuits est identique. Les circuits C88 à C128 seront mieux équilibrés que les circuits C1 à C41, car dans cette portion du système collecteur, la pression différentielle régresse en phase avec les circuits qui sont de plus en plus courts, jusqu'au circuit C128. Le défaut d'équilibre, entre les différents circuits, doit être, pris en

compte lors de la conception du système, tout en reconnaissant qu'il n'y a pas d'équilibrage mécanique durable. Lorsque l'on utilise de la saumure (CaCl₂ + H₂O) comme caloporteur, les vannes de réglage ne doivent pas être utilisées, car c'est une source potentielle de fuites de caloporteur, elles peuvent aussi se corroder rapidement et cesser de fonctionner.



Ref: Boucle_C.Dumas_fr_20210208.vsd

Ref: pipe_sizing_devel_dim_lineaire_pipe_v16.xls

Schéma, Boucle à retour direct, 2P

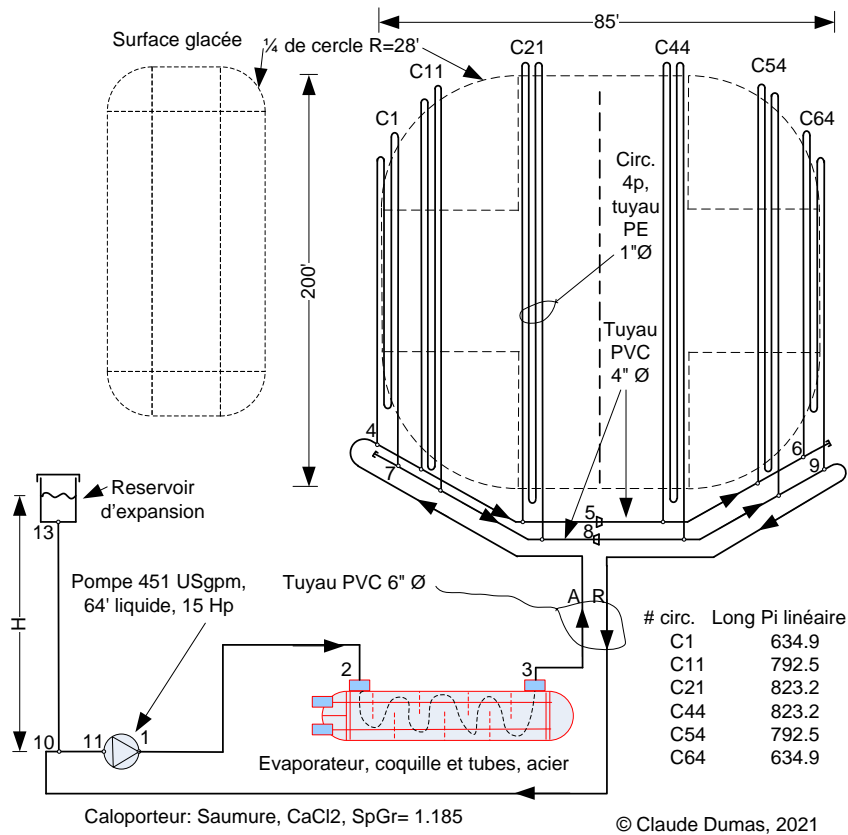
Figure 1 Schéma Boucle à retour direct, 2P.

Boucle à retour inversée (Boucle de Tichelmann)

Les circuits centraux C21 à C44 sont bien équilibrés entre eux, car les longueurs et la géométrie sont identiques, ce qui cadre bien à la définition de la boucle de Tichelmann. C'est différent pour les circuits C1 à C20 et C45 à C64, ils ne

cadrent pas bien avec la définition de la boucle, due à la présence des quarts-de-cercle, formant les quatre coins de la patinoire, leur longueur varie, ce qui fait varier le débit dans chaque circuit par rapport à son voisin immédiat. La constance dans la longueur du tuyau collecteur jusqu'à la pompe, vue par les circuits, C1 à C20 et C45 à C64, est importante pour contrer tant soit peu, le mauvais équilibrage de ces circuits dans la boucle.

La succession des circuits, piqués le long du collecteur d'alimentation, figure 2, entre les points 4, 5 et 6, capture successivement un débit de liquide qui est soustrait au débit du collecteur, occasionnant une diminution graduelle du débit et de la vitesse dans ce dernier, tandis que le phénomène inverse se produit, dans le collecteur de retour, entre les points 7, 8 et 9. La seconde demi-longueur, des tuyaux collecteurs d'alimentation et de retour, deviennent surdimensionnée (entre les points 5 – 6 et 7 – 8), c'est ce qui nous a motivé, à modifier le design, de la boucle de Tichelmann, (appliqué à une dalle réfrigérée), afin de diminuer les coûts de construction, en introduisant au point central du collecteur, deux raccords réducteurs de 6" à 4"Ø ce qui permet de remplacer sans compromis, $45' \times 2 = 90'$ de tuyau de 6" par du tuyau de 4"Ø, pour construire les collecteurs d'alimentation et de retour du caloporteur.



Ref: Boucle_C.Dumas_fr_20210208.vsd

Ref: pipe_sizing_devel_dim_lineaire_pipe_v16.xls

Schéma, Boucle de Tichelmann, (retour inversé),
4P, modifiée 6" » 4"Ø

Figure 2 Schéma Boucle de Tichelmann (retour inversé, 4P.).

Boucle alimentée retournée par son point central. (Boucle de Dumas) :

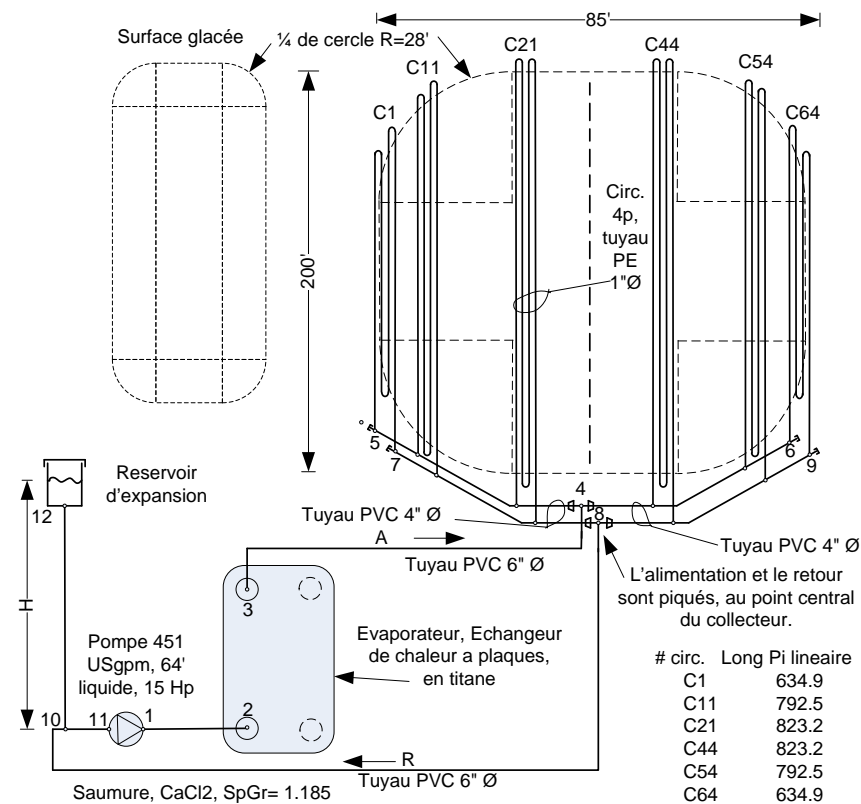
Les T installés aux points 4 et 8 sur les collecteurs d'alimentation et de retour, figure 3, ont pour fonction de diviser en deux, le débit de la pompe, du système de caloporteur, lors de son introduction dans les deux branches du collecteur. La division par deux, du débit, est une excellente occasion à saisir, car elle permet de diminuer, les coûts de constructions, en réduisant le diamètre du tuyau collecteur, par l'introduction en son point central, de chaque côté du T (6"x6"x6"), de deux raccords réducteurs de 6" à 4"Ø, ce qui permet de remplacer sans compromis, 90' x 2 = 180' de tuyau de 6"Ø par du tuyau de 4"Ø, pour construire les collecteurs d'alimentation et de retour. Au point 4 sur le collecteur

d'alimentation, la pression est maximale (+++) tandis qu'au point 8 sur le collecteur de retour, la pression est minimale (---).

Du point 4 (+++) jusqu'aux points 5 (+), et 6 (+), la pression chute dans le collecteur d'alimentation due à la friction, tandis que le même phénomène se reproduit dans le collecteur de retour des points 7 (-) et 9 (-) jusqu'au point 8 (---), générant un différentiel de pression minimal qui coïncide et est en phase avec la progression de la longueur des circuits latéraux, C1 à C20 et C64 à C45, les plus courts et les plus dissemblables circuits, du système d'échangeur de chaleur.

La boucle de Dumas (alimentée et retournée par son point central) est une amélioration par rapport aux autres types de boucles (Boucle à retour inversé et boucle à retour direct). La boucle de Dumas, tient compte du fait que les circuits de l'échangeur de chaleur sont de plus en plus courts en approchant des bandes.

À partir des points centraux 4 et 8 la pression différentielle dans le collecteur est maximale et diminue graduellement jusqu'aux points 5 - 7 et 6 - 9 (+) du collecteur, c'est là que les circuits sont les plus courts, ils offrent moins de résistance à l'écoulement du caloporteur, le système se balance naturellement.



Boucle_C.Dumas_fr_20210208.vsd

Ref: pipe_sizing_devel_dim_lineaire_pipe_v16.xls

© Claude Dumas, 2021

Schéma, Boucle Dumas

Figure 3, schéma, Boucle de Dumas, 4P.

Tableau comparatif des configurations de système

CONFIGURATION	AVANTAGES	INCONVÉNIENTS
Boucle à retour direct	<ul style="list-style-type: none"> Tuyauterie du collecteur réduite à sa plus simple expression Longueur du collecteur minimisée 	<ul style="list-style-type: none"> Circuits non équilibrés Débit de caloporteur non optimal
Boucle de Tichelmann (Boucle à retour inversée)	<ul style="list-style-type: none"> Circuits beaucoup mieux équilibrés Débit de caloporteur réduit et plus optimal Coûts de construction, du collecteur et du calorifuge réduits 	<ul style="list-style-type: none"> Tuyauterie du collecteur plus longue et un peu plus complexe
Boucle de Dumas (Boucle alimentée/retournée par son point central)	<ul style="list-style-type: none"> Circuits centraux bien équilibrés et circuits les plus éloignés mieux équilibrés Débit de caloporteur réduit et optimal 	<ul style="list-style-type: none"> Tuyauterie du collecteur un peu plus complexe Tuyauterie du collecteur plus longue que celle de la boucle à retour direct

	<ul style="list-style-type: none"> • Coûts de construction, du collecteur et du calorifuge réduits • Diamètre du tuyau collecteur réduit • Tuyauterie du collecteur plus courte que celle de la boucle à retour inversé 	
--	--	--

Conclusion

Un design d'échangeur de chaleur, pour une dalle réfrigérée de patinoire qui utilise :

- 1- Une boucle à retour direct est un design minimaliste, peu performant, mal équilibré. Parmi les 128 circuits de l'échangeur de chaleur, aucun n'a le même débit de caloporteur.
- 2- Une boucle de Tichelmann, est un design, plus performant, qu'une boucle à retour direct, mieux équilibré. La constance dans la longueur du tuyau collecteur jusqu'à la pompe, est un facteur important qui tend à contrer le mauvais équilibrage du système, déréglé, par la variation dans la longueur des circuits latéraux.
- 3- Une boucle de Dumas, est un design, beaucoup plus performant, bien adapté à la géométrie de l'échangeur de chaleur, enfoui dans une dalle de patinoire réfrigérée, les circuits de l'échangeur de chaleur, sont mieux équilibrés. Ladite boucle permet une réduction des coûts de construction, par la substitution des longueurs de tuyaux de 6"Ø par des longueurs de tuyaux de 4"Ø. De plus le design à 4 passes double, le Δt , réduit le débit du caloporteur, la consommation d'énergie et le Hp du moteur de la pompe, ce qui se traduit par une réduction de la quantité de chaleur dégagée par friction, dans le caloporteur, tous ces avantages réalisés, sans compromis, pour la qualité de la glace.

Références

- * L'association des ingénieurs allemands décerne chaque année le prix Albert Tichelmann. <https://www.abcclim.net/fonctionnement-boucle-tickelmann.html>
photo d'Albert Tichelmann <https://www.mixcloud.com/albert-tichelmann/listens/>
<https://www.grundfos.com/ca/fr/learn/research-and-insights/tichelmann-system>

Source des images : evolution_05sept2015_fr_an.vsd

© Claude Dumas 2021