

## Adresses:

Editeur: Office fédéral des questions  
conjoncturelles (OFQC)  
Belpstrasse 53  
3003 Berne  
Tél.: 031/61 21 39  
Fax: 031/46 41 02

Direction: RAVEL  
c/o Amstein+Walthert AG  
Leutschenbachstrasse 45  
8050 Zürich  
Tél.: 01/305 91 11  
Fax: 01/305 92 14  
Chef du domaine: Charles Weinmann  
Weinmann-Energies SA  
Route d'Yverdon 4  
1040 Echallens  
Tél.: 021/881 47 13  
Fax: 021/881 10 82

Auteurs: Lucien Keller  
Bureau d'Etudes Keller & Zahn  
Chemin de Renolly  
1175 Lavigny  
Tél.: 021/808 64 29  
Fax: 021/808 53 30

Manfred Appelt  
Atech  
Place Ages  
1143 Montricher  
Tél.: 021/864 50 96  
Fax.: 021/864 50 96

Participants P. Imbaumgartenà  
l'étude: U. Neuenschwander  
B. Züllig  
Stadtbachstrasse 42a  
3012 Berne  
Tél.: 031/24 39 42  
Fax: 031/24 81 18

P. Favre  
Ph. Mayer  
Service de l'Energie  
de la Ville de Lausanne  
Route de Genève 52  
1000 Lausanne 9  
Tél.: 021/315 81 11  
Fax: 021/315 83 58

H. Meyer  
Bieri Pumpenbau AG  
Südstrasse 10/12  
3110 Münsingen  
Tél.: 031/92 92 11  
Fax: 031/92 56 44

O. Zahn  
C. Freudiger  
Bureau d'Etudes Keller & Zahn  
Chemin de Renolly  
1175 Lavigny  
Tél.: 021/808 64 29  
Fax: 021/808 53 30

Cette étude appartient à l'ensemble des projets d'étude effectués par des diers dans le cadre du programme d'impulsion RAVEL. L'Office fédéral des questions conjoncturelles et la Direction du programme autorisent la publication de ce rapport, sous la responsabilité des auteurs et des chefs des domaines concernés.

Copyright Office fédéral des questions conjoncturelles  
3003 Berne, mai 1993

Reproduction autorisée, avec mention de la source.

Commande auprès de l'Office fédéral central des imprimés et du matériel, Berne (N° de com. 724.397.11.55 F)  
Form. 724.397.11.55 F 5.93 500

RAVEL - Publications RAVEL



Publications RAVEL

# **Pompes de circulation**

**Approche pragmatique pour diminuer la puissance installée et l'énergie consommée**



Lucien Keller  
Manfred Appelt

RA\EI, - Publications RAVEL

Office fédéral des questions conjoncturelles



# **POMPES DE CIRCULATION: APPROCHE PRAGMATIQUE POUR DIMINUER LA PUISSANCE INSTALLEE ET L'ENERGIE CONSOMMEE.**

## **TABLE DES MATIERES**

### **Sommaire / Zusammenfassung**

Introduction	p. 1
Structure du projet	p. 3
<b>Ch. 1: Partie pratique</b>	<b>p. 4</b>
1.1: Résultats des mesures	p. 4
1.1.a. surdimensionnement	p. 4
1.1.b. puissance électrique en fonction de la puissance thermique	p. 6
1.1.c. cosinus phi	p. 7
1.1.d. économies possibles	p. 7
1.2: Résultats des changements de circulateurs	
1.2.a. résultats	p.9
1.2.b. amélioration du confort	p. 9
1.2.c. difficultés techniques rencontrées	p.11
1.2.d. autres problèmes rencontrés	p. 12
1.3: Méthode proposée	
1.3.a. méthode à suivre	p. 14
1.3.b. risque et garantie au risque	p. 15
1.4: Causes du problème	p. 17
1.5: Caractéristiques des circulateurs et installations du futur	p. 19
1.6: Conclusions	p. 20
Annexes:	
- Mesures - Description des appareils utilisés	
a. pertes de charge du circuit	p. 21
b. différence de température départ-retour	p. 21
c. puissance électrique et cosinus phi	p. 22
d. mesure du débit	p. 22
- Modes d'emploi:	
- mesures des circulateurs et protocole	p. 23
- remplacement d'un circulateur	p. 27
- curseur FCR	p. 28
- étude d'un cas	p. 29
<b>Ch. 2: Interprétation des résultats et réflexions générales</b>	<b>p. 31</b>
1. L'objectif	p. 31
2. La méthode	p. 34
3. Les moyens	p.42
4. Historique	p.47



## SOM AAIRE.

### **Les circulateurs des installations de chauffage en Suisse consomment entre 2 et 50 fois trop d'électricité .**

Les mesures effectuées sur des centaines de cas dans toutes les régions de Suisse ont montré que le débit dans les installations de chauffage était en moyenne d'environ 2,5 fois trop élevé par rapport aux normes, aux concepts, à la calcula-tion, au dimensionnement. Les circulateurs consomment donc

théoriquement en moyenne 15 (=2,53) fois trop d'électricité.

### **Il est possible de remplacer ces circulateurs par des circulateurs correctement redimensionnés et d'économiser d'énormes quantités d'énergie électrique.**

Une trentaine de circulateurs ont été remplacés dans le cadre de cette étude. Dans 10% des cas un ajustage a dû être fait par la suite. Actuellement toutes les installations fonctionnent à la satisfaction des clients, souvent mieux qu'avant in-tervention. Cet état de fait confirme les constatations faites antérieurement.

### **Les causes de la surpuissance et de la surconsommation d'énergie sont connues.**

Il s'agit en premier lieu de la conception des installations, de l'inadaptation des bases de calcul, des méthodes de dimen-sionnement, cumulant les marges de sécurité, dans certains cas (échanges standard P. ex.) d'une certaine négligence, le problème de la consommation d'électricité n'étant pas encore perçu comme il le devrait, ainsi que du mauvais rendement des circulateurs sur le marché (souvent moins de 10% dans la gamme de puissance dont nous avons besoin).

### **Une méthode pour le redimensionnement correct des circulateurs est présentée.**

Cette méthode, conçue pour les bâtiments en fonction mais pouvant être développée pour les mises en service initiales, nécessite un certain nombre de mesures in-situ, ainsi qu'un peu de courage qui pourrait être épaulé par un fonds de ga-rantie au risque, financé sur le plan national.

## ZUSAMMENFASSUNG

### **Die Umwälzpumpen der Zentralheizungen verbrauchen 2 bis 50 Mal zuviel Strom.**

Messungen auf hunderten Anlagen in der ganzen Schweiz haben gezeigt, dass die Durchflussmengen in den Heizungsan-lagen im Schnitt 2,5 Mal zu hoch sind gegenüber der Norm, den Konzepten, der

Berechnung, der Auslegung. Die Umwälzpumpen brauchen so theoretisch 15 (=2,53) Mal zuviel Strom.

### **Es ist möglich diese Umwälzpumpen durch nachträglich dimensionierte Umwälzpumpen zu ersetzen und so sehr grosse Mengen Strom einzusparen.**

Im Rahmen dieser Studie wurden 30 Pumpen ausgewechselt. In 10% der Fälle musste eine spätere Anpassung durchge-führt werden. Zur Zeit funktionieren alle Anlagen zur Zufriedenheit der Kunden, oft besser als vorher. Diese Tatsache be-stätigt vorherige Feststellungen.

### **Die Ursachen der Ueberleistung und des Mehrverbrauches sind bekannt.**

Es handelt sich vorerst um nicht mehr angepasste Anlagenkonzipierung, um technische und mathematische Grundlagen, sowie um Auslegungsmethoden mit zuvielen Sicherheitsfaktoren, in manchen Fällen (Standardaustausch z.B.) eine gewis-se Nachlässigkeit. Der Stromkonsum wird noch nicht betrachtet wie es sein sollte. Die Wirkungsgrade der Pumpen des Marktes sind schlecht (oft tiefer als 10% in den jetzt noch erforderlichen Leistungen).

### **Eine Methode zur korrekten Anpassung der Umwälzpumpen wird vorgestellt.**

Diese Methode ist vorerst für schon bestehende Gebäude vorgesehen, und wird weiter entwickelt für Neuinbetriebsetzun-gen. Sie erfordert eine gewisse Anzahl von Messungen in der Anlage, sowie etwas Mut, der durch eine Risikogarantie auf Bundesebene unterstützt werden könnte.



## **POMPES DE CIRCULATION: APPROCHE PRAGMATIQUE POUR DIMINUER LA PUISSANCE INSTALLEE ET L'ENERGIE CONSOMMEE.**

### INTRODUCTION.

On constate que dans toutes les installations de chauffage l'eau circule très vite, trop vite, ce qui se fait sentir par:  
 - une différence de température entre l'aller et le retour trop faible, non conforme aux normes SIA et au dimensionnement théorique de l'installation - une forte consommation d'électricité (dont on a par ailleurs pris l'habitude) - divers problèmes tels que bruit, sifflements, réglages difficiles et instables, corrosion par érosion particulièrement dans le cas du plastique.

Diverses estimations convergent vers un potentiel d'économie de l'ordre de 600 MW de puissance, chiffre que certains estiment un peu trop élevé et que d'autres estiment un peu trop bas. Ce potentiel est énorme, mais diffus: il y a plusieurs millions de circulateurs en Suisse, qu'il faudra tous vérifier et probablement adapter en les changeant ou en les équipant d'un variateur de fréquence.

Un programme d'économies dans ce domaine ne peut avoir que des effets bénéfiques pour le consommateur: en plus d'une facture d'électricité moindre, les installations fonctionneront mieux; du point de vue de l'économie nationale on aura moins besoin de recourir aux importations d'électricité en hiver.

Il y aura néanmoins un certain nombre d'obstacles à vaincre, ce à divers niveaux.

Citons en particulier:

- le problème des frais: l'investissement nécessaire pour changer un circulateur, qui en principe est amorti en quelques années, devrait pouvoir apparaître dans les frais d'exploitation si l'on veut éviter des blocages,
- le problème des installations mal équilibrées: pour parvenir à un maximum d'économies, une installation de chauffage devrait être bien équilibrée, ce qui n'est malheureusement pas souvent le cas; mais cette absence de réglage dans la plupart des cas va permettre des économies d'énergie (électricité et combustible)

importantes,

- le problème de la garantie: actuellement, en fonction de l'ampleur de l'intervention et des mesures, on ne peut être sûr à 100% qu'après avoir changé un circulateur tout fonctionnera sans problème. Il faudrait donc que les personnes qui effectuent des échanges de circulateurs bénéficient d'une "garantie au risque" ou qu'elles prévoient d'entrée un deuxième passage sur l'installation, passage qui s'avérera inutile dans 90% des cas,
- le problème de la réaction des utilisateurs, qui sont habitués à avoir des radiateurs uniformément chauds et qui risquent de penser que "ça ne marche plus" si le bas du radiateur est plus froid que son haut (rappelons que par grand froid il serait normal que la différence entre haut et bas des radiateurs soit de 20 degrés, voire même plus dans le cas de certains chauffages à distance).

D'autre part, un certain nombre de problèmes d'ordre psychologique ont été rencontrés au cours de nos travaux. Ces problèmes seront répertoriés plus en détail dans la suite du rapport.

N'oublions pas, de plus, que les rendements des circulateurs actuels sont lamentables, moins de 10% pour les petits modèles, moins de 50% pour les gros modèles, moins de 70% pour les très gros modèles. Les fournisseurs ont donc également un gros effort à faire pour diminuer nos besoins en électricité. Nous leur apportons notre aide en ouvrant un nouveau marché, et en définissant mieux les besoins réels par des mesures faites sur les installations, ce qui leur permettra de limiter leur gamme de produits.

## STRUCTURE DU PROJET.

Dans le but d'économiser la puissance et l'énergie mentionnées plus haut, nous avons lancé un projet dans le cadre du programme RAVEL. Ce projet comporte deux phases:

- une première phase destinée à montrer que ces économies sont possibles, et comment les réaliser, à recenser les problèmes techniques et autres qui pourraient survenir et à chiffrer le risque que l'on prend en décidant de changer un circulateur.

une deuxième phase durant laquelle il faudra diffuser la méthode mise au point et convaincre un maximum de personnes, en particulier par l'organisation de cours pratiques.

De nombreux sujets intéressants, tels que les problèmes contractuels et financiers, le problème du rendement des circulateurs, le problème des solutions standard actuellement appliquées, le développement d'un variateur efficace et bon marché, etc, sont soit traités par d'autres groupes, soit en suspens.

Par rapport à la situation actuelle et aux visées pour le futur ce projet se situe comme suit 1):

1. actuellement, la situation est caractérisée par un rapport entre l'énergie

auxiliaire électrique et l'énergie de chauffage (pour un bâtiment de 750 Mj/m<sup>2</sup>) de:

Eél./Ech. = 20 o/oo (Pél./Pch. = 6 o/oo), voire plus

2. le présent projet a visé le but suivant:

Eél./Ech. = 3 o/oo (Pél./Pch. = 1 o/oo) 3. actuellement, un dimensionnement optimal des installations neuves (pour un bâtiment de 250 MJ/m<sup>2</sup>) conduit à:

Eél./Ech. = 1 o/oo (Pél./Pch. = 0.3 o/oo)

4. dans le futur il devrait être possible d'arriver sans problème à:

Eél./Ech. = 0.45 o/oo (Pél./Pch. = 0.15 o/oo)

Le présent rapport traite de la première phase mentionnée ci-dessus. Les travaux y relatifs ont été réalisés en collaboration avec le Service de l'Energie de la Ville de Lausanne et un groupe de travail conduit par M. P. Imbaugarten, ingénieur-conseil à Berne. La collaboration avec ces personnes étrangères à notre bureau a permis d'une part de tester la méthode préconisée, d'autre part de compléter notre expérience des problèmes et difficultés autres que techniques pouvant freiner la démarche.

Il faut souligner que notre démarche est pragmatique et expérimentale: du fait que les théories actuellement en vigueur commencent à être contestées (autorité nécessaire ? des vannes thermostatiques) ou qu'elles sont visiblement incomplètes (calcul des pertes de charge), nous avons mesuré et essayé en chassant de notre esprit tout à-priori..... ce qui a donné certains résultats surprenants.

1) nous avons admis que le circulateur fonctionne durant toute la saison de chauffe, tandis que la brûleur fonctionnait 1/3 du temps, ce qui donne un rapport de 1 à 3 entre "rapport puissance" et "rapport énergie". Il s'agit évidemment d'une approximation assez grossière, valable dans les anciennes installations. De nouvelles régulation permettent de diminuer le temps de marche des

circulateurs.

## CHAPITRE 1: PARTIE PRATIQUE

### 1.1. RESULTATS DES MESURES.

A titre d'exemple, l'annexe "étude d'un cas" montre les relevés et mesures effectués sur une installation particulière.

On peut dire qu'il est généralement impossible de se faire une idée précise sur le bâtiment, son installation de chauffage et plus particulièrement ses circulateurs avant d'avoir effectué les mesures et de les avoir analysées. Jouent en particulier un rôle qui peut être important:

- la perte de charge de la chaudière, particulièrement dans le cas de certaines chaudières à gaz à condensation
- l'importance plus ou moins grande d'effet thermosiphon, effet que nous avons pu constater, en particulier dans le cas d'un bâtiment plus long que haut, où suite à une panne intervenue en cours de mesure une circulation faible, mais suffisante pour satisfaire le confort des locataires, a été maintenue pendant plusieurs heures. Il faut cependant noter que dans ce cas, l'effet thermosiphon n'aurait sans doute pas suffi pour mettre en mouvement l'eau de chauffage à travers tous les radiateurs; pour contre il a suffi pour la maintenir en mouvement.

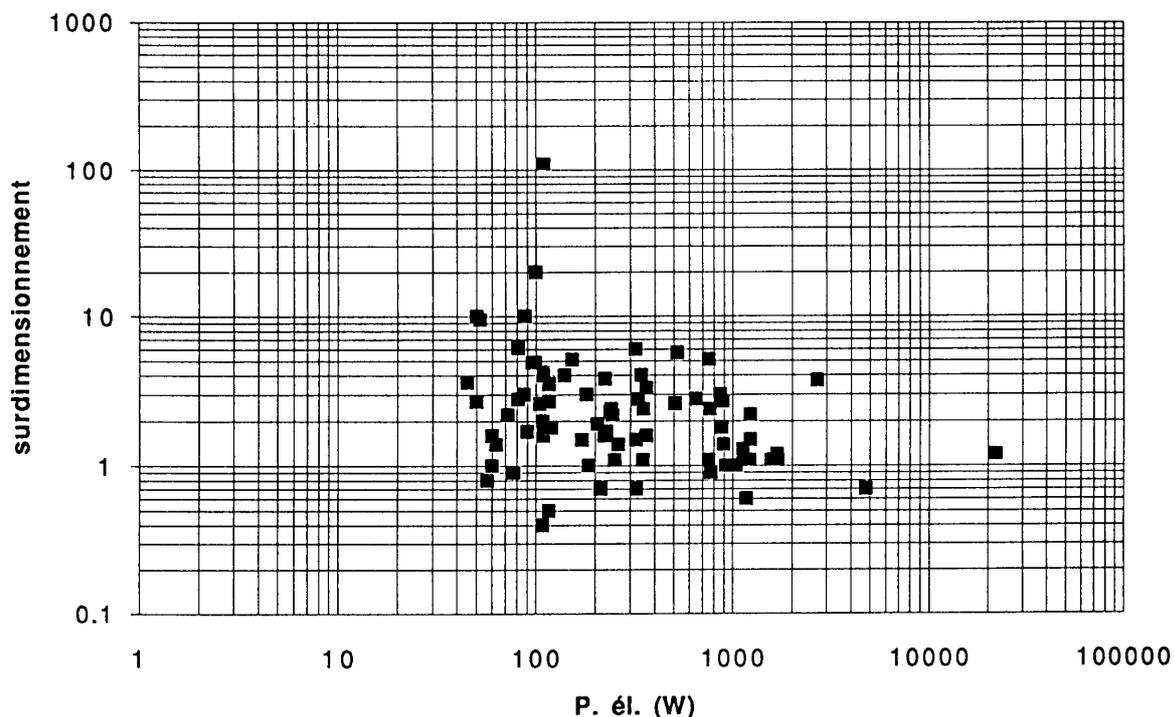
Les principaux résultats obtenus sont les suivants:

#### I.1.a. surdimensionnement:

Par "surdimensionnement" nous entendons un débit dans le circuit trop élevé par rapport aux besoins; un tel surdimensionnement pourra être caractérisé, par exemple, par une différence de température entre aller et retour trop basse (dans le cas des radiateurs les normes et usages prescrivent 20 °C pour la température extérieure de dimensionnement). Des mesures de température (aller et retour), de pression différentielle et d'électricité effectuées sur une centaine d'installations montrent que le surdimensionnement des circulateurs est tout à fait général: nous n'avons trouvé que deux installations avec plusieurs circulateurs "trop petits" ... mais fonctionnant néanmoins à l'entière satisfaction des utilisateurs. Nous avons constaté que, par rapport aux besoins thermiques réels du bâtiment, le débit était en moyenne 2,5 fois trop élevé. Comme la consommation électrique de la pompe augmente avec le cube du débit, on constate que cette dernière est de 15 fois trop grande. L'économie théoriquement possible est donc de plus de 90%. Nous verrons plus loin qu'un facteur important, qui est le rendement actuel des circulateurs, diminue quelque peu ce potentiel. Par contre, le fait qu'une différence de température entre aller et retour supérieure aux 20 degrés de la norme est souvent supportable, augmente ce potentiel.

La figure 1 montre le surdimensionnement mesuré dans les diverses installations, surdimensionnement concernant le débit et déterminé à partir des mesures de température.

FIG. 1: surdimensionnement déterminé à partir des températures, en fonction de la puissance des circulateurs



On constate une dispersion très grande: quelques installations sont sousdimensionnées, quelques rares installations sont correctement dimensionnées, et la plupart sont largement surdimensionnées. Les gros circulateurs, relativement rares, sont mieux dimensionnés que les petits.

Il faut noter que la mesure de la différence de température est délicate et relativement peu fiable, à moins de prendre beaucoup de temps (p. ex. mesures de la Ville de Lausanne, par le système de télémesure/télégestion). Les températures sont en effet instables, les systèmes ont une forte inertie, et de plus il y a parfois des by-pass (p. ex. sur les vases d'expansion ouverts) qui ont pour effet de diminuer le AT en chaufferie: la mesure effectuée conduira alors à un résultat plus petit que ce que l'on a effectivement sur les radiateurs. De plus ces mesures ne sont possibles que par de basses températures extérieures.

Une autre méthode pour estimer le débit est de mesurer la différence de pression entre l'aller et le retour et de se référer à la courbe du circulateur. Malheureusement une telle mesure n'est pas toujours possible; de plus les courbes des fournisseurs ne sont pas très précises. Il s'agit néanmoins d'un bon contrôle, à ne pas oublier lorsque cela est possible.

Quant à la seule mesure précise, c'est la mesure directe du débit. Comme elle n'est la plupart du temps pas directement possible en chaufferie, on peut la réaliser sur un radiateur, dont la vanne peut relativement facilement être équipée en conséquence, et extrapoler le surdimensionnement mesuré à l'ensemble de l'installation.

Un atout certain des mesures de débit et de pression différentielle est qu'il permettent de se rendre compte en direct des effets d'un changement de pompe.

I.I.b. puissance électrique en fonction de la puissance thermique:

Diverses tentatives ont été faites pour établir un lien soit entre la puissance électrique nécessaire dans une installation et sa puissance thermique, soit entre la consommation électrique d'une installation et sa consommation de combustible.

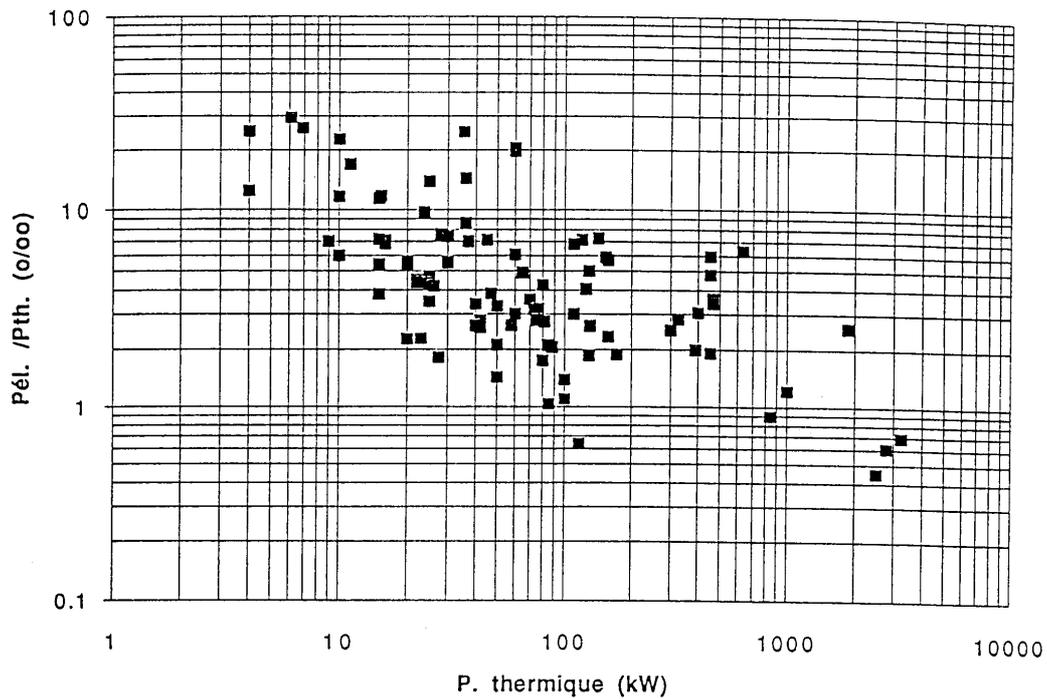
Une règle approximative très simple a été proposée, qui est de compter pour la puissance électrique du circulateur le 1 o/oo (un pour-mille) de la puissance thermique effectivement nécessaire. Cela correspond à une consommation électrique du circulateur d'approximativement 3 o/oo de la consommation de combustible.

Les résultats obtenus, présentés à la figure 2, montrent que cet objectif est tout à fait raisonnable et est même dépassé dans certains cas, à condition que le circuit hydraulique soit correctement conçu, calculé et équilibré. On constate en effet que, sans effort particulier, un nombre non négligeable d'installations répond déjà à ce critère, bien qu'elles-mêmes soient encore surdimensionnées.

A noter que l'on peut généralement atteindre ce but -ou mieux- avec les circulateurs actuellement sur le marché; lorsque l'on pourra obtenir des circulateurs ayant un meilleur rendement, il sera possible de viser une puissance électrique de l'ordre de 0,15 o/oo de la puissance thermique.

Notons en passant qu'il peut être utile de parler de la puissance hydraulique nécessaire, puissance hydraulique ne tenant pas compte du rendement des circulateurs. La puissance hydraulique d'un circulateur pourrait dans la grande majorité des cas être inférieure à 0,1 o/oo de la puissance thermique, ce qui correspond à une installation fonctionnant avec un AT de 20 K et une hauteur manométrique de 0,8 mCE. Néanmoins cette notion a le désavantage d'être moins immédiatement accessible, la plaquette du circulateur indiquant la puissance électrique absorbée, mais pas la puissance hydraulique fournie.

FIG. 2: Résultats des mesures



#### I.I.c. cosinus phi.

La mesure du cosinus phi peut nous donner des informations complémentaires, car le cosinus phi est fonction de la plus ou moins bonne qualité du moteur électrique et de son taux de charge. Si un bon cosinus phi n'est pas forcément la preuve que l'installation est bien dimensionnée et que le circulateur est de bonne qualité (la charge du moteur peut également provenir des frottements internes du circulateur!), on peut par contre affirmer que si un circulateur à un cosinus phi inférieur à environ 0,6, il y a une amélioration possible: soit le circulateur est de mauvaise qualité, soit il n'est pas adapté à l'installation (mauvais point de fonctionnement).

#### I.I.d. économies possibles.

Le tableau 3 donne, en chiffres, les principaux résultats obtenus et surtout les économies possibles, économies qui se montent en moyenne à plus de 250 W par circulateur, ce qui est plus élevé que ce à quoi nous nous attendions.

TABLEAU 3: résultats des mesures effectuées

type de bâtiment	nombre d'installations	P. électrique totale W	Pél./Pth. o/oo	surdimensionnement	économie moyenne possible par pompe W
Logements	30	9441	5.8	6.7	248
Hôpitaux	6	5671	1.7	2.5	635
Administration	14	4103	3.8	3.9	193
Industrie, artisanat	2	370	6.5	1.6	126
Ecole	11	5417	20.9	2.8	261
Salles communales	4	633	7.2	1.3	56
Distance	8	13117	1.2	1.1	329
<b>totaux ou moyennes</b>	<b>75</b>	<b>38752</b>	<b>2.3</b>	<b>4.2</b>	<b>266</b>
Ecs	3	962			210
Piscines	1	22000		1.2	9269

On constate que l'ensemble de la problématique est complexe. Si l'on veut atteindre le résultat espéré, soit une économie de 600 MW, il est indispensable d'adopter une procédure très simple. Il est en effet hors de question, dans un délai raisonnable, d'analyser l'ensemble de la distribution de tous les immeubles, de la recalculer, de l'équilibrer, et enfin de placer le bon circulateur.

Le plus simple serait de ne prendre en compte que la mesure de la différence de température. Néanmoins, l'expérience a montré que cette mesure était peu précise, pour plusieurs raisons:

- les températures ne sont pas stables (cycles d'enclenchement -déclenchement de la chaudière, vannes de réglage lentes, inertie du circuit) - pour les faibles différences de température que l'on a généralement, l'erreur de mesure relative est évidemment importante - il peut exister des by-pass dans l'installation, par exemple un vase d'expansion ouvert, des vannes 4 voies, un ou deux gros radiateurs pas freinés, ce qui rend la température de retour non représentative de l'ensemble de l'installation. De plus, cette mesure ne peut pas se faire n'importe quand: il faut que la température extérieure soit suffisamment basse.

Une mesure précise et rapide, permettant également de quantifier de manière immédiate les changements apportés à l'installation est la mesure de la différence de pression entre aller et retour.

## 1.2. RESULTATS DES CHANGEMENTS DE CIRCULATEURS.

### 1.2.a) résultats.

Nous avons utilisé 3 méthodes pour améliorer la situation, qui sont le passage à la vitesse inférieure du circulateur, la pose d'un variateur de vitesse et le remplacement du circulateur par un modèle plus petit. Un vingtaine d'installations ont ainsi été améliorées à ce jour. Les résultats obtenus sont les suivants:

- passage à une vitesse inférieure du circulateur:

Les économies réalisées sont comprises entre 40 et 75%. Cette manipulation est très simple et ne nécessite qu'un déplacement dans la chaufferie, un minimum de réflexion, et peut-être un nouveau plot que certains fournisseurs offrent d'ailleurs gratuitement. **ESSAYEZ CHEZ DONC VOUS, C'EST TELLEMENT SIMPLE ET RENTABLE!**

- pose d'un variateur de vitesse:

Les économies réalisées ont été de l'ordre de 75% avec un variateur du marché, jusqu'à 90% dans certains cas avec un prototype pas encore commercialisé. Il est difficile d'aller plus loin: les circulateurs ne sont pas prévus pour fonctionner dans ces conditions et leur rendement diminue avec l'abaissement de la vitesse. Notons que les variateurs de vitesse actuellement sur le marché sont excessivement chers, du moins pour une tension de 3x380 V; cette situation est en train de changer. - remplacement du circulateur:

Il s'agit de la mesure la plus efficace: les économies réalisées vont jusqu'à 95%. Les principaux résultats sont consignés dans le tableau 4 et la figure 5.

Pour économiser davantage encore, on peut évidemment, dans certains cas, modifier la régulation pour arrêter la pompe lorsqu'il n'est pas nécessaire qu'elle fonctionne

### 1.2.b) amélioration du confort

Un débit trop grand peut avoir des conséquences néfastes sur le fonctionnement de l'installation et le confort des utilisateurs. Signalons en particulier le problème du bruit causé par un débit trop grand. La réduction de la puissance du circulateur a toujours permis d'améliorer la situation.

Dans un des cas, certains radiateurs éloignés n'étaient pas irrigués avec le circulateur surdimensionné, ce qui peut s'expliquer. La pose d'un circulateur plus petit a résolu ce problème.

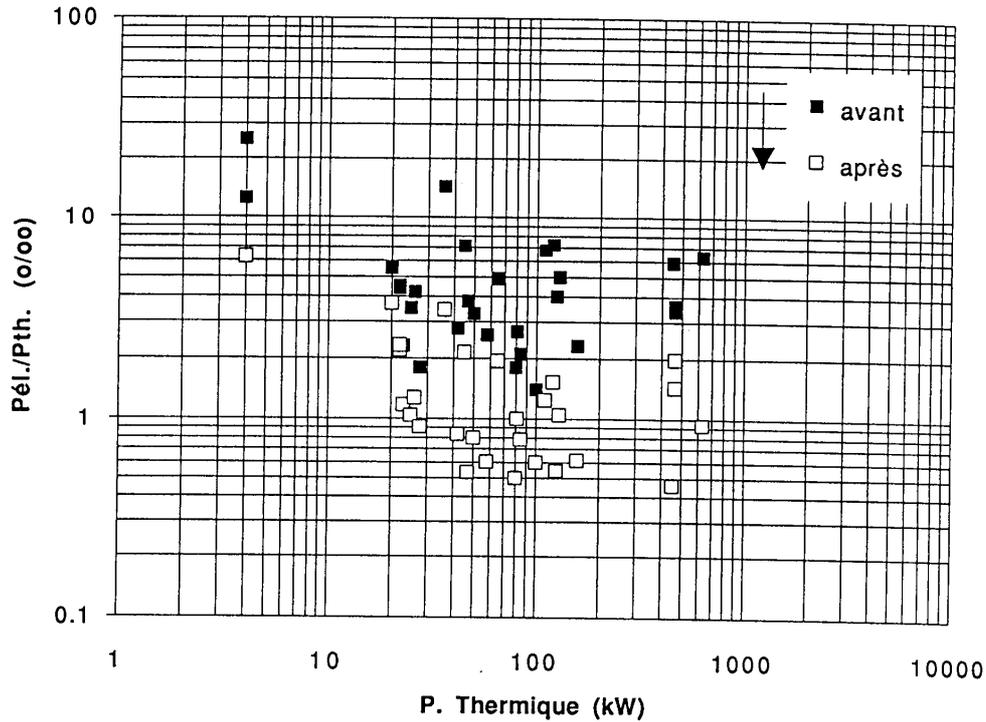
D'autre part, le dérive en température des vannes thermostatiques est réduite, ce qui assure une température intérieure plus constante.

TABLEAU 4: résultats obtenus lors de l'amélioration des circulateurs

Nom	initial		1ère étape			2ème étape			PéL/Pth o/oo
	P (W)	surdim.	P (W)	éc. (%)	surdim.	P (W)	éc. (%)	surdim.	
IL - primaire	1126	1.3	1350	20	1.6		0		1.4 1)
IL- intendance	519	5.7	124	76	1.4		0		3.4 2)
ACV-bureaux	222	1.6	177	20	1.8	81	64	1	
Bruyère	108	4.2	63	42	1.0	48	56	0.7	1.5 (1.1) 3)6)
CIPEF - nord	201	6.3	96	52	4.9	51	75	1.7	2.3 11)
CIPEF - sud	204	6.2	99	51	4.9	48	76	1	2.2 11)
Cipef primaire	321	1.5	222	31		96	70	0.9	2.1 11)
Cité-Ouest B	1680	1.2	1385	18		665	60	0.8(sol)	1.4
Cité-Ouest CC- v+	363	23.3	216	40		96	74	1.9	0.6
Cité-Ouest CC-D	52	9.5	27	48	1.8		0		1.2
Cité-Ouest D- ch	2695	3.7	207	92	2.6	105	96	1	0.5 (0.2) 4)
CTG	1575	2.2	912	42	1.4		0		2
Eglantine	176	6.1	66	63	1.4		0		0.8 8)
Landolt	109	(4) 2.0	74	32	1.0	33	70	0.4	1.6 2), 10)
Montoie	153	5.1	60	61	3.2	51	67	1.6	0.8 3)
Fleurettes	247	2.4	46	81	1.4	15	94	0.9	0.2 2) 9)
Bellevue - immeuble	243	2.2	192	21	1.4	39	84	1.3	0.5
Bellevue- combles	114	1.8	33	71	3.0	18	84	0.9	1.1
Davel	645	2.8	135	79		285	56	1.4	0.8 2)7)
La Mottaz	4000	2.5	2000	50	2.0	585	85	1	0.9
La Mottaz circulecs	500		250	50		145	71		
Caroline	505	2.6	67	87	1.8	52	90	0.9	0.4 5)
Marquisat	87	3.0	26	70	0.9	40	54		1.6 4)
LWSDS sud	320	6.0	126	61	3.0		0		0.9
SFCB LJC nord est	860	3.0	183	79	2.7		0		0.8
SFCB OG nord ouest	750	5.1	136	82	4.0		0		0.7
Lausanne habitation	180	3.0	25	86	1.3		0		0.6
Lausanne restaurant	100	20.0	25	75	4.0		0		6.3 12)
Lausanne voirie	50	2.7	25	50	1.5		0		0.9 12)
Lausanne loisirs	50	10.0	25	50	5.0		0		6.3
Lausanne primaire 2	110	∞	0	100			0		0 13)

- 1) échange standard, sans contrôle de notre part !!!
- 2) variateur de fréquence, limite inférieure supportée par pompe
- 3) pompe consomme 2\*plus qu'indiqué par fournisseur ! changées en 2ème étape, mais ne jouent toujours pas
- 4) problèmes dus à un mauvais équilibrage (vitesse supérieure eo, vitesse inférieure ne joue plus)
- 5) courbe de chauffe à régler, problèmes par T ext. relativement haute
- 6) 1ère étape eo, 2ème étape trop bas: la préparation d'ecs perturbe  
(mauvaise connexion hydraulique donne  $\Delta P$  négatif !!)
- 7) problèmes dus à l'équilibrage. Une boucle reste "morte" à n'importe quelle vitesse
- 8) grande inertie de la vanne 3V ainsi que de la chaudière.
- 9) tournait à l'envers; trop de bruit si à l'endroit !!
- 10) à 12 W cela chauffait encore assez, mais gros sous-dimensionnement ( $\Delta T=28K$ )!
- 11) installation avec tuyauterie dimensionnée pour  $\Delta T=10K$
- 12) il n'existe pas de circulateur assez petit !!
- 13) une des pompes primaires a été arrêtée, ce qui donne une économie de 40% sur l'ensemble du primaire  
la deuxième pompe n'a pas encore été optimisée

FIG. 5: Résultats après amélioration (changement de vitesse, variateur ou changement de pompe)



#### 1.2.c) difficultés techniques rencontrées.

Notre méthode, nouvelle puisque basée sur des mesures et des essais plus que sur des calculs, peut évidemment susciter certains problèmes. Un des buts de notre travail était de cerner la limite à partir de laquelle de tels problèmes survenaient dans une installation. Pour tenter de trouver cette limite, nous avons procédé par étapes, en allant toujours aussi loin que le permettait soit le circulateur, soit le variateur posé sur le circulateur.

Il faut noter que nous avons rarement eu des problèmes; d'un côté, tant mieux, mais d'un autre côté c'est dommage, puisque nous ne savons toujours pas de manière précise jusqu'où l'on peut aller (mais la multiplicité des possibles fait que nous ne serons jamais exhaustifs).

Nous avons constaté que:

- dans de nombreux cas on peut "sous-dimensionner" notablement le débit par rapport à la norme, c'est à dire que l'on peut sans autre faire tourner une installation avec un AT plus grand que 20K (jusqu'à 30K) à la température extérieure de dimensionnement

- contrairement à ce que nous pensions, il n'est généralement pas nécessaire d'adapter la courbe de chauffe: nous n'avons dû le faire que dans un seul cas où les locataires avaient froid par des températures extérieures relativement clémentes (si cette température était de moins de 5 °C, il n'y avait pas de problème). Il faut donc en conclure que, de manière générale, les courbes de chauffe sont trop hautes, et qu'en plus des économies d'électricité, un dimensionnement correct du circulateur conduit également à une économie de mazout, sans porter atteinte au confort. Ainsi, en passant d'une différence de température de 4 degrés à une différence de température de 14 degrés, sans modification de la température de l'aller, on économisera jusqu'à 10% du combustible, ce qui, pour un immeuble moyen, représente plus de Fr. 2000.- par an!

Nous avons rencontré deux types de problèmes techniques qui nous ont obligé à revenir en arrière en mettant une pompe plus puissante (ou en augmentant simplement la vitesse de la pompe):

- dans deux cas certains radiateurs ne chauffaient plus assez, du fait d'un probable déséquilibre hydraulique de l'installation. Deux solutions sont alors envisageables: soit passer à la vitesse supérieure de la pompe (solution bon marché, mais augmentant la consommation d'électricité), soit équilibrer l'installation ou intervenir localement (solutions préférables, mais plus coûteuses), - dans un cas, la préparation d'eau chaude, qui nécessite une pompe puissante du fait des pertes de charge de l'échangeur, a perturbé le fonctionnement du circuit de chauffage, équipé à vrai dire d'une pompe assez extrême ne fournissant que 0,3 mCE! Une connexion hydraulique de la dérivation de l'eau chaude plus conforme aux règles de l'art aurait permis d'éviter ce problème.

Signalons encore que dans le cas d'un système à injection, comprenant une pompe primaire, la mise hors service du circulateur pour la préparation d'eau chaude à mené à une limitation à 50 °C de la température de cette dernière, ce qui a été jugé insuffisant. La pompe a donc été remise en marche à sa plus petite vitesse. L'économie réalisés par le passage à une vitesse inférieure aura tout de même été de 71 %.

Mentionnons encore un petit problème qui pourrait survenir, mais auquel nous ne nous sommes pas heurtés lors de nos essais, qui est celui de la relance matinale: pour que tout le circuit soit chaud, il faut évidemment plus de temps si le débit est normal que si le débit est trop grand.

#### 1.2.d) autres problèmes rencontrés

De nombreux problèmes psychologiques ou contractuels rendent longue et pénible la démarche visant à faire changer, puis à changer les circulateurs.

Les premières difficultés viennent du propriétaire ou de la gérance. Mentionnons: - un manque général de motivation pour les économies d'énergie en général, d'électricité en particulier: pour beaucoup le potentiel d'économies se situe en première priorité dans la production et la distribution de chaleur, en deuxième priorité dans la régulation, régulation qui pourrait d'ailleurs arrêter le circulateur lorsque l'on en a plus besoin. L'électricité est toujours ressentie comme une forme d'énergie "allant de soi", et son coût, tant économique que social, négligé,

- le fait que les circulateurs fonctionnent correctement et qu'il n'y a pas conséquent pas de raison de les changer avant une panne, surtout si l'on pense à l'énergie grise nécessaire pour ce remplacement (il s'agit d'un argument important en faveur de la pose de variateurs)

- la conviction qu'il existe des moyens plus efficaces d'économiser l'électricité, conduisant à un meilleur rapport coût/bénéfice. - le caractère diffus du potentiel d'économies (plusieurs millions de circulateurs) et la relativement faible puissance en jeu pour chaque circulateur (quelques centaines, voir dizaines de watts) ne rendent pas souvent l'opération assez spectaculaire.

- la peur d'un mauvais fonctionnement de l'installation, la crainte d'avoir trop froid. Il est donc nécessaire de donner une garantie.

Le fournisseur et l'installateur posent également certaines limites. Ainsi, en cas de panne, on a recours à des échanges standard et le critère déterminant, confirmé par 2 fournisseurs et quelques installateurs, est uniquement la longueur et le diamètre de la pompe à remplacer, à l'exclusion de ses performances. Cela illustre bien la manière peu sérieuse dont sont dimensionnés les circulateurs d'aujourd'hui.

Quant au concierge, il est normal qu'il n'apprécie pas que quelqu'un vienne toucher une installation qu'il a souvent optimisée lui-même et qui lui donne satisfaction en ce sens que ses locataires ne réclament pas. C'est en effet lui qui subira les récriminations des gens qui ont trop froid, qui prétendront que l'installation ne fonctionne plus parce que le bas des radiateurs est froid (même s'il fait 21 C dans la pièce), etc. D'autre part, certains concierges ont l'habitude de jouer avec tous les boutons possibles et imaginables et sont convaincus de tout connaître en matière de chauffage. Il sera donc particulièrement important d'agir avec tact et psychologie, quitte à perdre du temps, si l'on veut avoir un résultat durable.

### 1.3. METHODE PROPOSEE.

#### 1.3.a) méthode à suivre

Pour choisir un circulateur, il faut déterminer son point de fonctionnement, à savoir la quantité de caloporteur qu'il doit mettre en mouvement (débit) et les pertes de charge qu'il doit vaincre (pression).

Ces grandeurs peuvent être calculées, mais l'accumulation des marges disséminées dans les méthodes de calcul (p. ex. puissance de chauffe calculée sans tenir compte des apports internes), ainsi que l'imprécision de certaines données de base, font que l'on arrive automatiquement à un résultat trop élevé. Si l'on veut se rapprocher de la réalité, il faut:

- déduire 20% au moins du débit calculé
- recalculer la perte de charge avec ce nouveau débit, puis en déduire 20% environ. Cette méthode, toute brutale qu'elle soit, donne de bien meilleurs résultats qu'un calcul traditionnel, mais ce n'est pas une panacée.

La meilleure chose à faire est de mesurer:

Le débit nécessaire peut être déterminé à partir de la puissance réelle nécessaire au chauffage du bâtiment, étant donnée la différence de température entre aller et retour (p. ex. 20 °C). Cette puissance réelle peut être déterminée par plusieurs méthodes, par exemple:

- une signature énergétique
- à partir de la consommation, à l'aide du curseur FCR (Association des Fabricants de Chaudières et Radiateurs); il faut dans ce cas retrancher 30% à la puissance obtenue, du fait des marges de sécurité nouvellement introduites (l'ancien disque selon R. Weiersmüller donnait des valeurs de puissance bien plus basses)!

La pression différentielle nécessaire peut être déterminée à partir du surdébit, soit par calcul direct si une mesure de pression est possible (la pression varie avec le carré du débit), soit en utilisant la courbe de la pompe existante, méthode moins précise. Le surdébit lui-même se détermine soit: - par mesure directe et comparaison au débit nécessaire - par mesure de la différence de température entre aller et retour et comparaison à la différence de température nécessaire - par mesure de la différence de pression et utilisation de la courbe de la pompe existante

Une pression de 0,8 mCE devrait généralement suffire, y compris vanne de réglage et circuit chaudière si une pompe primaire n'est pas nécessaire. Cette pression ne devrait pas dépasser 1 mCE, en fonctionnement elle peut même descendre à 0,2 mCE, valeur qui toutefois sera probablement insuffisante pour mettre en mouvement l'eau de chauffage à travers toute l'installation. Pour un chauffage par le sol une pression plus grande peut s'avérer nécessaire, surtout si l'on a affaire à de longues boucles faites avec du tuyau "économique" de faible diamètre.

Des indications supplémentaires peuvent aider au choix d'un circulateur de remplacement:

- la consommation électrique peut parfois donner une indication sommaire quant au point de fonctionnement de la pompe (emplacement sur la courbe de la pompe)
- un cosinus phi trop bas (6) montre que la pompe n'est pas adaptée à l'installation
- le rapport entre puissance électrique du circulateur et puissance thermique à transporter devrait aujourd'hui, en 1992, être de l'ordre de 1 o/oo pour de très petites pompes (25 W), puis s'abaisser progressivement jusqu'à 0,3 o/oo pour les pompes de 100 W ou plus. Dans le futur, ces valeurs devraient descendre respectivement à 0,15 o/oo et 0,45 o/oo.

Enfin, lors du remplacement d'un circulateur il s'agit évidemment de limiter le risque: un éventuel fonctionnement insatisfaisant de l'installation ne devrait pas occasionner des coûts prohibitifs pour une remise en état. Nous conseillons donc de-

choisir un circulateur à 2 vitesses, dont la première vitesse est dimensionnée au plus juste, sans aucune marge, selon la méthode donnée ci-dessus, la deuxième vitesse étant une réserve pour le cas où il y aurait un problème.

### 1.3.b) risque et garantie au risque

Nous avons constaté, que ce soit dans notre groupe ou ailleurs, une crainte diffuse et générale: n'est-il pas risqué de mettre un circulateur consommant 10 ou 20 fois moins que le précédent?

Tous les participants à ce travail se sont une fois ou l'autre posé cette question et continuent d'ailleurs à se la poser.

Comment dès lors espérer que d'autres, moins motivés ou ayant moins de connaissances, ne se la posent pas et n'hésitent pas?

D'autre part, dans 10% des cas, nous avons dû retourner sur l'installation et passer le circulateur à une vitesse supérieure. Une telle deuxième intervention est toujours pénible, si elle n'est pas prévue d'office, elle suscite un sentiment d'échec, et de plus coûte du temps, donc de l'argent.

Mais:

Dans d'autres cas, le fonctionnement de l'installation a été amélioré: des radiateurs ne chauffant jamais ont commencé à fonctionner, le problème lancinant du bruit dans les tuyauteries a été supprimé.

Dans de nombreux cas nous aurions encore pu aller plus loin et économiser d'avantage, d'où aussi un certain sentiment de frustration.

Il faut donc reconnaître qu'une méthode simple telle que celle que nous préconisons comporte des risques très faibles, mais des risques tout de même: - le risque de voir une installation ne plus fonctionner correctement et de devoir intervenir à nouveau sur un circulateur pour en changer la vitesse

A notre avis, si une campagne de levure devait être lancée, il serait absolument nécessaire:

1. de prévoir d'office un deuxième déplacement sur l'installation, pour contrôle. Même si ce deuxième déplacement s'avèrera "inutile" dans 90% des cas, elle permettra à l'intervenant de peaufiner son expérience; dans certains cas il pourra aussi économiser encore plus en baissant encore la vitesse de la pompe!
2. de créer un fonds de garantie au risque, fonds auquel les intervenants ayant eu des problèmes avec une installation pourraient s'adresser pour se faire rembourser leurs frais.

Il faudrait en outre inciter les gens à prendre un maximum de risques, d'aller plus loin que ce qu'ils se sentent capables de faire, afin d'économiser autant que possible.

#### 1.4. CAUSES DU PROBLEME.

Il peut paraître surprenant que l'on installe des circulateurs trop puissants, ne respectant d'ailleurs pas les normes en vigueur (p. ex. SIA 384/2, p. 48), surtout qu'en plus d'une consommation d'électricité absolument inutile, ces circulateurs induisent souvent d'autres problèmes tels que bruit dans les distributions, instabilité des réglages hydrauliques, etc.

Les causes de cet état de fait sont multiples:

Certaines d'entre elles sont dues à de la pure négligence ou à des problèmes de concurrence:

- on ne calcule pas l'installation, soit par flemme, soit parce que cela coûte plus cher que de mettre un circulateur trop gros (on part du principe malheureusement encore en vigueur qui veut que: plus c'est gros, mieux ça vaut), soit encore du fait des structures cloisonnées en place (fournisseur/technicien/installateur) - lors de la mise en service, ou lors d'un entretien, on met les pompes sur leur vitesse maximale, selon le principe énoncé ci-dessus. Or une pompe correctement dimensionnée sera peut-être prévue pour une vitesse inférieure, à laquelle elle peut avoir un excellent rendement.

D'autres de ces causes peuvent être dues aux normes, lois, conceptions et méthodes de calcul en vigueur, normes, lois et méthodes qui contiennent toutes des approximations et des facteurs de sécurité pouvant se multiplier: - la norme SIA 384/2, "puissance thermique à installer", conduit à un surdimensionnement des puissances thermiques - et par conséquent des débits nécessaires pour distribuer cette puissance - de l'ordre de 20% en moyenne - le calcul des pertes de charge, du fait en particulier qu'elle ne tient pas compte des régimes laminaires, conduit également à un certain surdimensionnement, - le technicien ou l'ingénieur aura généralement tendance à choisir la pompe la plus puissante si le résultat de son calcul permet le choix de l'une ou l'autre. Il est dès lors "normal", ou du moins inévitable, d'avoir des débits de l'ordre de 40% trop importants, ce qui conduit à une puissance et consommation d'électricité près de 3 fois trop grandes ( $1.4^3 = 2.7$ ).

En plus on a très souvent la prise en compte du "facteur de trouille": -"choisissons un peu trop grand, on ne sait jamais"

Les normes et les lois ne nous facilitent pas la tâche: souvent, au lieu de fixer des buts à atteindre, elles fixent également des moyens, et ces moyens contiennent déjà des facteurs de sécurité et de "crainte". Ce fait n'est pas spécifique au problème des circulateurs de chauffage, mais se rencontre partout. Un exemple en est donné par la problématique des pompes de régénération des piscines, qui sont toutes beaucoup trop grosses, ce qui peut coûter annuellement plusieurs dizaines de milliers de francs à l'exploitant.

En résumé, pour atteindre notre but:

- il faudra tordre le cou au principe: "plus c'est gros, mieux ça vaut", en montrant en particulier tous les problèmes (bruit, déséquilibre entre les groupes, etc) induits par cette manière dépassée de voir les choses, comme l'indique déjà le cours RAVEL 21.02
- il faudra montrer les avantages que l'on a à redimensionner correctement les éléments d'une installation, et en particulier le circulateur, - il faudrait, afin de sécuriser tout à fait les gens, créer une "garantie au risque" qui prendrait en charge les travaux nécessaires pour le cas où un changement de circulateur aurait entraîné de sérieux problèmes au niveau de la distribution de chauffage.

En ce qui concerne les pompes, on constate qu'elles ont souvent des rendements lamentables, surtout pour ce qui est des petits modèles où ces rendements sont de moins de 10%. Il est clair dès lors que si l'on remplace une pompe avec un rendement moyen, de 40% par exemple, par une pompe beaucoup plus petite mais n'ayant plus qu'un rendement de 5%, tout le potentiel d'économie ne pourra pas être exploité. Ainsi, dans une installation d'une puissance thermique de 25 kW pourra-t-on avoir besoin d'un circulateur de 40W avec un rendement de 5%, alors que s'il existait une pompe de 5 W avec un rendement de 40%, cela suffirait. D'autre part, fait surprenant, nous avons constaté que la hauteur manométrique, mesurée à la pompe, réellement nécessaire pour assurer le débit nominal était très souvent inférieure à 0,5 mCE. Or il n'existe pas de circulateur convenable assurant

un débit de quelques  $m^3/h$  à cette hauteur manométrique. Les fournisseurs ont donc du pain sur la planche pour développer des produits correspondant aux besoins réels des installations !

### 1.5. CARACTERISTIQUES DES CIRCULATEURS ET INSTALLATIONS DU FUTUR.

Afin de minimiser la consommation d'énergie électrique auxiliaire, les installations devront être dimensionnées de la manière suivante.-

- la différence de température entre l'aller et le retour à la température de dimensionnement selon SIA devra être de:
  - 20      2/+10 K) dans le cas d'un chauffage par radiateurs
  - 12      2/+5 K) dans le cas d'un chauffage par le sol
  - 40      2 K dans le cas d'un chauffage à distance

- les pertes                      de charge du circuit de distribution devront être inférieures à 1 mCE

Quant aux circulateurs, nous attendons des fournisseurs qu'ils mettent sur le marché des pompes ayant les caractéristiques suivantes:

- rendements:
  - >40% pour une puissance absorbée inférieure à 50 W
  - >60% pour une puissance absorbée comprise entre 50 et 200 W
  - >75% pour une puissance absorbée supérieure à 200 W

- démarrage: un démarrage à vitesse supérieure, afin d'être sûr que l'eau de chauffage de toutes les boucles soit mise en mouvement, puis abaissement de la vitesse.

Une régulation de puissance plus évoluée que celles disponibles actuellement, régulation ne limitant pas seulement la différence de pression, mais également le débit ou la différence de température entre l'aller et le retour, afin de tenir compte notamment de l'effet de thermocirculation, pourrait également être utile.

## 1.6. CONCLUSIONS.

Les résultats obtenus à ce jour confirment les affirmations faites antérieurement sur les possibilités d'économie d'électricité dans les installations de chauffage. Ils montrent en particulier que:

- le surdimensionnement des circulateurs est un fait, ce surdimensionnement étant dû d'une part à certaines négligences, d'autres part à une accumulation des facteurs de sécurité que l'on retrouve dans les diverses normes et méthodes de calcul.

- il est généralement possible de changer les circulateurs dans les installations actuellement en fonction ou de les équiper de variateurs de fréquence dans le but de diminuer leur puissance électrique à moins de 1 o/oo, voire moins de 0,3 o/oo (dans le futur 0,15 o/oo) de la puissance thermique distribuée, ou leur puissance hydraulique à moins de 0,1 o/oo de la puissance thermique distribuée. - il est sans autre possible de construire des installations, voir d'exploiter les installations actuelles de manière à ce que la consommation d'électricité des circulateurs soit inférieure à 3 o/oo, voire 1 o/oo (dans le futur 0.45 o/oo) de l'énergie thermique distribuée.

Il subsiste, et c'est normal, un léger risque de dysfonctionnement de l'une ou l'autre installation. Ce risque est faible, et proportionnel aux économies que l'on tente de faire. A noter que dans de très nombreux cas nous aurions pu économiser encore bien d'avantage sans que le fonctionnement de l'installation n'en souffre: nous avons ainsi pu obtenir une différence de température nominale de 30 K dans certains cas (au lieu des 20 K "normaux") sans que quiconque ne se plaigne. Il vaut donc à notre avis la peine de prendre un maximum de risques, quitte à devoir retourner sur une installation pour augmenter la vitesse d'un circulateur. Néanmoins il serait bon que cette deuxième intervention soit financée par un fonds de garantie auquel pourraient avoir accès les installateurs ou ingénieurs ayant suivi une formation ad-hoc.

Il s'agit à présent d'organiser des cours pratiques, dans les chaufferies, afin de familiariser les installateurs, les gérants, les propriétaires ainsi que les ingénieurs avec le problème et sa solution, et d'attaquer certains problèmes psychologiques et contractuels qui peuvent encore freiner la démarche.

Remerciements:

Au terme de ce travail nous tenons à remercier les personnes qui nous ont soutenues et conseillées, en particulier MM. Ch. Weinmann et N. Péguiron, ainsi que la direction du programme RAVEL pour son soutien financier.

ANNEXES:

## Mesures, description des appareils utilisés

## a. pertes de charge du circuit

Cette mesure est très utile pour estimer le facteur de surdimensionnement de la pompe, mais, elle n'est que rarement possible.

En effet, les groupes ne sont souvent pas équipés de prises de pression correctement situées.

De plus, les appareils de mesure précis sont compliqués et chers-Pour les nouvelles installations et dans le cadre des rénovations, il serait judicieux de monter systématiquement des éléments permettant le raccordement d'un appareil de mesure de la pression, du genre Twin-Lock ou similaire.

L'appareil utilisé dans un premier temps pour nos mesures est de marque Qitus et a été développé pour l'équilibrage hydraulique des circuits. Nous avons par la suite testé des mesureurs mécaniques Fischer, ce qui représente une solution meilleur marché. D'autres possibilités existent et de nouveaux appareils sont actuellement en développement.

## b. différence de température aller-retour

Le problème posé pour cette mesure réside souvent dans l'instabilité des température en fonction du temps. En effet, la température de départ varie selon des cycles périodiques dus au fonctionnement "tout-ou-rien" de la plupart des chaudières. L'amplitude des fluctuations dépend de la présence ou non d'une vanne mélangeuse ainsi que de la qualité de sa régulation.

La température de retour suit les fluctuations de la température de départ (même fréquence), mais avec un déphasage et un amortissement variant selon de nombreux paramètres (débit, volume du circuit, présence et autorité de vannes thermostatiques, etc ... )

Afin d'obtenir des valeurs correctes, il faut donc observer si ces fluctuations sont sensibles et, dans le cas échéant, prendre une valeur moyenne des variations sur un cycle complet.

D'autre part, il faut se méfier des régimes transitoires: des mesures prises durant la relance matinale, ou juste après la charge du chauffe-eau ne seront pas représentatives du fonctionnement normal de l'installation.

Le thermomètre utilisé, de marque TestoTerm, possède deux entrées permettant d'effectuer des mesures simultanées des températures de départ et de retour, une fonction donnant directement le  $\Delta T$  et un module d'enregistrement et d'impression. Les sondes, montées dans des bracelets à fermeture Velcro, sont de type Ni- CrNi.

### c. puissance électrique et cosinus phi

Si, pour les charges ohmiques, il suffit de calculer le produit de la tension par l'intensité mesurée pour obtenir la puissance, ce n'est plus le cas pour un moteur à cause du déphasage entre tension et intensité (angle phi). Le problème se complique encore si l'on a affaire à un moteur triphasé, à priori considéré comme non-équilibré.

L'appareil à utiliser est alors un wattmètre. La puissance d'un moteur triphasé non-équilibré se mesure grâce à trois wattmètres (ou à un appareil unique regroupant les trois)

Après avoir sondé le marché des wattmètres de laboratoire, coûteux et presque trop précis pour notre usage, nous avons décidé de construire une mallette comportant trois appareils de marque EMU, type 1.28, qui sont des appareils suffisamment précis, bon marché et fournissant toutes les mesures électriques nécessaires à notre campagne de mesure. Par exemple, la valeur du cos phi, grandeur résultant de la qualité et du taux de charge du moteur, est directement disponible. Par la suite, nous nous sommes aperçu que les moteurs des circulateurs sont bien équilibrés et que la mesure de l'une des trois phases est suffisante.

Il semble que des pinces ampère-métriques plus précises que celles disponibles il y a deux ans existent maintenant. Malheureusement nous n'avons pas pu les tester.

### d. mesure du débit

Certaines installations comportent des groupes équipés de compteurs de chaleur permettant généralement d'obtenir la valeur du débit horaire. Cette valeur permet de déterminer avantageusement le point de fonctionnement du circulateur. En l'absence de compteurs, ou de vannes spéciales permettant de déterminer le débit à partir de la perte de charge créée par un étranglement, il n'est pas possible de connaître directement cette grandeur.

Une mesure pouvant être intéressante peut se faire à l'aide d'une vanne Thermoquitus placée sur le radiateur le plus défavorisé. Une telle mesure nécessite néanmoins de sortir de la chaufferie et de changer une vanne de radiateur. Elle prend donc plus de temps, mais est néanmoins justifiée si l'on désire mieux connaître l'installation et si une mesure de la différence de pression n'est pas possible.

**0. Conditions pour qu'une mesure soit possible:**

-  $T_{\text{ext}} < 5^{\circ}\text{C}$

- **pas de soleil si l'immeuble est équipé de vannes thermostatiques**

1. Remplir la première page dans la mesure du possible (nb. appart.-pièces-rad.)

2. Mesurer la température extérieure

3. Installer le thermomètre sur l'aller et le retour. Attendre:

- s'il n'y a pas de vanne mélangeuse: un cycle enclenchement- déclenchement de la chaudière

- s'il y a une vanne mélangeuse: au min. 2 minutes après le déclenchement de la chaudière

*Se méfier des régimes transitoires: relance matinale ou après un cycle de charge du chauffe-eau*

4. Remplir le haut et le bas de la deuxième page (caractéristiques du circulateur et de la régulation) dans la mesure du possible

5. Relever les températures:

- s'il n'y a pas de vanne mélangeuse: -  $T_{\text{aller min.}}$  et  $T_{\text{aller max.}}$ , faire la moyenne

-  $\Delta T$  min. et  $\Delta T$  max, faire la moyenne

- calculer  $T_{\text{retour moyenne}} (T_{\text{aller}} - \Delta T)$

- s'il y a une vanne mélangeuse: -  $T_{\text{aller}}$ ,  $T_{\text{retour}}$ ,  $\Delta T$

*ne mesurer qu'à la vitesse "normale" du circulateur*

6. Mesure des pressions:

- voir si c'est possible: sur circulateur ou vidanges identiques sur aller et retour

- faire les mesures si l'appareil est disponible

- dans le cas contraire, noter comment devra se faire la mesure (raccords)

*mesurer à toutes les vitesses du circulateur, noter en bas de page 2*

7. Mesure de l'électricité:

- mesurer une phase, cos phi et puissance. Si la pompe est triphasée, il suffit de

multiplier la puissance mesurée sur une phase (entre phase et neutre, 220V) par 3.

*mesurer à toutes les vitesses du circulateur, noter en bas de page 2*

8. Mesure débit, si compteur disponible

**9. En partant, vérifier que tout est dans l'état initial:**

- circulateur tourne

- circulateur sur bonne vitesse

- etc.

## PROTOCOLE DE MESURES P.1 (GENERALITES)

**NOM:** .....  
 Date et heure : .....  
 Météo: .....  
 Type d'immeuble .....  
 Adresse: .....  
 Concierge: ..... tél: .....  
 Gérance: ..... tél: .....  
 Installateur ou ingénieur: .....  
 .....  
 Consommation: ..... l / m3 Année: .....  
 Eau chaude: séparé/ combiné  
 Puissance correspondante: ..... kW selon curseur FCR  
 #VALUE! kW moins marge 30%  
 Vannes thermostatiques: ..... Heure relance: .....  
 Pression de remplissage: ..... bar

---

Schéma de principe / interactions entre les groupes





## MODE D'EMPLOI

### REPLACEMENT D'UN CIRCULATEUR.

Vérifier - circulateur et raccords: longueur + diamètre  
- connection électrique: longueur  
- vannes d'arrêt

Arrêter circulateur

Débrancher électricité

Fermer vannes

Vidanger

Démonter

Remonter

Ouvrir vannes, purger

Raccorder électricité

Enclencher

Vérifier sens rotation

Vérifier fonctionnement

# Curseur F.C.R.

## Détermination de la puissance de la chaudière de remplacement en kW, en fonction de la consommation moyenne de mazout/gaz de l'installation en place.

### Bas de la détermination

Affectation: bâtiments à usage d'habitation, occupés durant toute l'année, dans des conditions normales d'utilisation.

Formule de calcul:  $\text{Consommation annuelle moyenne en } \frac{\text{mazout}}{\text{m}^3 \text{ gaz}} \times \text{facteur de compensation spécifique (selon la localité)}$

Données climatiques: selon normes SIA 380/1, D4  
 Conditions d'utilisation et définition des notions «facteur de compensation spécifiques» et «Conditions normales d'utilisations»: voir à l'intérieur de la longuelette repliée du curseur.

**Exemple de lecture:** on cherche la puissance en kW d'une chaudière de remplacement pour une installation à Berne, dont la consommation moyenne de mazout, relevée sur de nombreuses années, étoi de 12 000 l/an. Selon l'exemple de lecture figurant au verso, le facteur de compensation spécifique est 242.  
 Lecture: lire apparaît le chiffre de 12 000 l dans la fenêtre. Sur la ligne «facteur de compensation spécifique 241-265», on peut alors lire le chiffre 47. La nouvelle chaudière doit donc avoir une puissance de 47 kW.



**F.C.R. Les portenaires de l'industrie de chauffage.**



Consommation annuelle moyenne de l'installation en place

Page 2

2500-10000 l mazout/m<sup>3</sup> gaz

Nouvelle chaudière en kW

37	181-200
30	221-240
25	266-290
21	316-340

facteur de compensation spécifique selon réglage ou verso du curseur

12000-50000 l mazout/m<sup>3</sup> gaz

Nouvelle chaudière en kW

184	181-200
152	221-240
126	266-290
107	316-340

facteur de compensation spécifique selon réglage ou verso du curseur



ETUDE D'UN CAS.

Il s'agit d'un locatif de 15 étages à Gland, chauffé à distance. La sous-Station comprend une pompe primaire pour le chauffage et la préparation d'eau chaude, et une pompe secondaire pour le chauffage.

L'installation ne donne pas satisfaction; on relève en particulier:

- un manque d'eau chaude en hiver
- un manque de chauffage dans certains appartements
- du bruit dans l'installation

La puissance thermique est de 453 kW.

La puissance électrique du circulateur est de 2695 W.

Les autres caractéristiques du circulateur secondaire sont donnés plus loin. Les mesures ont montré que le débit était 3,7 fois trop grand: un circulateur de même rendement mais d'une puissance électrique 50 fois plus faible devrait théoriquement suffire!

Un nouveau circulateur, d'une puissance électrique en vitesse 2 de 105 W est posé:

- les températures aller-retour et les pressions sont correctes
- il y a plus d'eau chaude disponible
- les appartements qui étaient froids sont chauffés correctement
- le bruit gênant ne se fait plus entendre
- mais un autre appartement devient trop froid!!

Il y a donc un problème d'équilibrage de l'installation. Personne ne voulant payer ce travail d'équilibrage, à vrai dire assez conséquent, nous augmentons le vitesse du circulateur à la vitesse 3. La consommation est alors de 207 W..... et il n'y a plus de problème.

## Cité-Ouest 4.

## Etat initial:

Puissance thermique:		453 kW
Puissance électrique du circulateur:		2695 W
Rapport entre puissance électrique et thermique:		5.9 o/oo
Surdimensionnement	3.7	
Economie théorique:		980/0

## Nouveau circulateur:

## 1 ère étape:

Puissance électrique du circulateur:		207 W
Rapport entre puissance électrique et thermique:		0.5 o/oo
Surdimensionnement résiduel*:	2.6	
Fonctionnement de l'installation:		amélioration dans certains appartements plus de bruit

## 2ème étape:

Puissance électrique du circulateur:		105 W
Rapport entre puissance électrique et thermique:		0.2 o/oo
Surdimensionnement résiduel*:	1.0	
Fonctionnement de l'installation:		problèmes dans certains appartements

## Correction:

Retour à la première étape

## Résultat final:

Puissance électrique du circulateur:		207 W
Rapport entre puissance électrique et thermique:		0.50/00
Surdimensionnement résiduel*:	2.6	
Fonctionnement de l'installation:		SANS PROBLEME
Economie réalisée:		950/o

## Différence entre économie théorique et réalisée:

équilibrage hydraulique de l'installation nécessaire pour faire fonctionner le circulateur en vitesse 2

\* >1: surdimensionné; 1: juste; < : sous-dimensionné (par rapport aux températures)

## **Chapitre 2 INTERPRETATION DES RESULTATS ET REFLEXIONS GENERALES**

1. L'OBJECTIF de cette étude est d'aider à :

- **DIMINUER la puissance et la consommation électrique des pompes de circulation.**

**minimiser l'énergie totale** nécessaire à la distribution de chaleur, en tenant compte de la qualification des énergies mises en jeu, ç-à-d en

- **OPTIMISANT le rapport** 
$$\frac{\text{Energie}_{\text{électrique}}}{\text{Energie}_{\text{chauffage}}}$$

Nous entendons par là utiliser chaque vecteur énergétique avec son maximum de qualification, en fait ce pour quoi il a été mis en oeuvre, avec les pertes et rendement inhérent à chaque système.

L'énergie électrique est conçue pour mettre en mouvement le caloporteur, et non pour chauffer l'eau, il n'est pas raisonnable de retransformer en chaleur, même avec un haut rendement, une énergie que l'on a chèrement " qualifiée " avec les 35% de rendement des centrales électriques à vapeur.

La chaleur produite dans la chaudière est prévue pour chauffer des locaux, et c'est tant mieux si l'effet thermosiphon qu'elle induit accessoirement participe favorablement, la plupart du temps, à la mise en mouvement du fluide, mais il s'agit de ne pas gaspiller inutilement de l'énergie de chauffage pour ranimer, par nostalgie et d'une manière qui n'est plus adéquate, un procédé qui a ses limites et pour lequel les pompes de circulation ont pris la relève bien à propos, et si l'efficacité énergétique des pompes a rarement été suffisante, nous allons tous collaborer pour y remédier.

La particularité technique du problème que nous traitons, et cela en fait un projet spécifique et ambitieux, c'est de vouloir:

lors d'une intervention centralisée sur un élément - la pompe de circulation minimiser la puissance de cet élément alors qu'il fait partie d'un ensemble qui a pour fonction de distribuer de l'énergie thermique -de la chaleur ou du froid- au loin, dans toute une installation,voire même plusieurs.

Cette constatation fondamentale appelle une certaine modestie quant à nos possibilités et limitera donc nos objectifs. L'on pressent déjà que plus nous devrons émettre d'HYPOTHESES sur l'installation, sur son fonctionnement, plus nous devrons être modestes dans la vigueur de nos interventions, ou alors être téméraires et très soutenus dans nos choix.

L'enjeu comporte plusieurs facettes.

1° L'enjeu énergétique, pour l'ensemble de la Suisse, peut se chiffrer à une intervention sur une puissance installée de quelque 600 MW ( 4% du total des 2'050 MW de puissance nucléaire et 1 1'600 MW de puissance hydraulique installée ) et une énergie de ruiban consommée de quelque 2,9 TWH ( 5% du total des 23 TWH d'origine nucléaire et des 33 TWH d'origine hydraulique ). Pour le détail, voir Annexe 1.

2° L'enjeu d'un renouveau professionnel, qui passe par une prise de conscience des intervenants de leurs responsabilités et de leurs possibilités d'interventions. Il s'agit de passer d'une attitude laxiste où l'on se repose sur un consensus général de commodité, pouvant se résumer abruptement en

- installons suffisamment de puissance de pompe et suffisamment de matériel de régulation, cela fonctionnera.

Cette démarche est encore trop en vigueur. Notre société valorise trop les réflexions théoriques et les simulations sur ordinateurs en elles-mêmes, si bien que trop peu de " théoriciens " se sont penchés sur les problèmes pratiques qui pourtant conditionnent les théories.

La conséquence de ce hiatus entre théorie et pratique, cette lacune du transfert d'information est un surcoût énergétique important.

La très grande chance des "praticiens" est qu'ils sont capables, moyennant quelques mesures in situ et quelques réflexions, d'arriver à des consommations énergétiques bien plus basses que les " méthodes mathématiques prédictives précédentes.

La CONFIRMATION du bien-fondé de notre appréciation de la situation du surdimensionnement actuel et de la méthode pour y remédier est établie par des témoignages d'exploitants et les résultats obtenus.

D'une part les chutes de températures insuffisantes - de l'ordre de 2 - 3K au lieu des 20K prévu - ont été notamment confirmées par les quelques 700 participants aux 34 cours du programme d'impulsion sur l'équilibrage hydraulique.

D'autre part les centaines d'installations neuves et les dizaines d'assainissements qui ont été réalisés ces dernières années ont toutes validé avec pleine satisfaction notre type d'intervention - mesures in situ-, en acceptant soit des pompes très faibles, soit des réductions de puissances de plusieurs dizaines de pour-cent et souvent de plusieurs centaines de watt.

Les premières extensions immédiates du domaine d'application, parce que s'adressant aux mêmes corps de métiers, sont le domaine des pompes à chaleur, des capteurs solaires, de la ventilation ( notamment par une resituation du rapport de l'énergie de transport sur l'énergie utile, on avait jusqu'ici un facteur 1 : 10 entre l'eau et l'air, on va se situer, sans évolution du côté de l'air à 1 : 100 )

2. La METHODE que nous allons présenter est résolument tournée vers l'avenir, mais elle est aussi conçue pour contribuer à résoudre notre problème de surdimensionnement général actuel.

Notre méthode se situe globalement entre

- les méthodes prédictives, sans aucune mesure dans l'installation se basant sur le fait que nos connaissances théoriques de la conception et de la réalisation sont suffisantes, pour que l'on puisse tout prévoir depuis un bureau et

- les méthodes de télégestion, qui ne nécessitent pas la compréhension du fonctionnement, de par des mesures plus ou moins nombreuses et une gestion programmée ou autoadaptée, gèrent au mieux la distribution d'énergie avec le matériel en place.

Le déplacement physique de " personnes spécialement formées dans les chaufferies est ce qui singularise notre méthode des autres.

Hormis cette différenciation essentielle, nous considérons qu'il faut promouvoir un enrichissement mutuel des diverses méthodes, en banissant tout sectarisme.

### APPORTS DES MESURES IN SITU

#### CALCULS PREDICTIFS

#### TELEGESTION

##### Apportons

##### Retirons

##### Retirons

##### Apportons

1° retour d'information immédiat de l'installation.

1° pouvoir réaliser des installations performantes

1° info. préliminaires

1° préalable plus performant, mieux gérable

2° possibilité, à terme d'adapter théorie et pratique

2° facilités de mise en oeuvre  
3° facilités de réglages

2° retour d'info. des interventions. fine.

2° incitation à une gestion plus fine.

3° promouvoir conception plus économe et plus simple

Voici, de manière non exhaustive, les relations que nous avons déjà pu mettre en évidence et expérimenter.

Notre apport se situe encore sur deux niveaux.

1 ° Des aens de métiers

1.1 qui feront fonctionner leurs installations “ comme prévu ”

1.2 amélioreront la prestation aux usagers, par suppression des bruits et la diminution des coûts de fonctionnement

2° De l'industrie Suisse

2.1 En incitant à développer du matériel performant et exportable

2.1.1 Pompes de circulation et

2.1.2 Régulations

2.2 En élevant le niveau de compétence, qui peut s ‘ exporter  
aux niveaux

2.2.1 Théoriques: dans les études et conceptions

2.2.2 Pratiques, par le personnel particulièrement qualifié pour ses interventions dans les installations.

Notre méthode repose en premier lieu sur le

## **BON-SENS**

orientant les “ mesures ” techniques à prendre en fonction de l'enjeu, de notions préalables et de la volonté générale de vouloir économiser de l'énergie.

Un CONSTAT PRELIMINAIRE oriente notre démarche: c'est le fait qu'il n'y a, à ce jour et à notre connaissance, aucune méthode mathématique prédictive (nous entendons par là: la succession linéaire du calcul, de la réalisation et de la mise en service selon les seuls calculs "prédictifs" ) qui permette d'arriver à des valeurs de puissance et de consommation énergétique aussi basse qu'en adaptant sur l'installation la puissance de la pompe aux besoins.

Le corollaire de ce constat, est qu'il n'y a pas de minimum technique absolu, mathématiquement prédictible, pour la puissance - et par là de la consommation - des pompes de circulation pour une installation donnée, mais seulement des minima locaux, décroissants irrégulièrement en fonction des investissements en information, en connaissances ou en volonté d'économiser, dans l'installation.

Les interventions essentielles à entreprendre pour réduire la puissance des pompes, sont de 3 TYPES

1° Des mesures effectuées dans les installations.

C'est là en fait que le BON-SENS va nous guider quant à l'ampleur des mesures que nous allons effectuer pour déterminer une dimension de pompe mieux adaptée à l'installation. L'ensemble des mesures à entreprendre pour contrôler ou redimensionner une pompe de circulation peut prendre une importance certaine.

Les mesures peuvent être de 5 types différents

1.1 Mesures de TEMPERATURES qui sont en fait celles qui confirment constamment le surdimensionnement des pompes, car la chute de température est toujours bien inférieure à la valeur calculée. Elle est apparemment simple à réaliser, mais l'ampleur du surdimensionnement est souvent telle, que cette mesure devient pernicieuse. En effet, si la mesure de différence de température est d'autant plus significative - quant au surdimensionnement- indique une valeur faible (1 à 3 K elle est aussi d'autant plus délicate de par l'imprécision de sa détermination, la pré-

sence de by-pass dissimulés, du déséquilibres hydrauliques et les déductions qu'on peut alors tirer d'elle seule peuvent être erronées de facteurs entiers sur la puissance de la pompe de remplacement.

1.1.1 (T aller - T retour) groupes

1.1.2 (T aller-T retour)collecteur

1.1.3 T locaux

1.2 La mesures de PRESSIONS  
DIFFERENTIELLES

Ce sera un de nos regards à l'intérieur du réseau hydraulique.

Cette mesure nous permettra de prendre conscience instantanément de deux aspects essentiels et nouveaux.

1.2.1 Les pressions différentielles nécessaires sont bien plus faibles que celles que par nos calculs ou notre "intuition" nous attendrions à rencontrer.

La mise en évidence et la quantification de cet aspect essentiel est dû aux mesures du Bureau Keller & Zahn en 199 1.

1.2.2 La plupart des installations peuvent se comporter en source de pression- avec très peu d'interactions entre utilisateurs individuels ou entre groupes.

1.3 Les mesures de DEBITS décentralisées seront notre autre regard à l'intérieur du réseau hydraulique. Elles nous permettront de moduler nos interventions sur la pompe changement de vitesse, variation de fréquence etc. et de mesurer leurs effets là où c'est déterminant ( leur raison d'être finalement ), aux débits des utilisateurs.

Multipliées dans l'installation, c'est elles qui permettront l'intervention avec le moins de risques, ainsi que le maximum de réduction de puissance de pompe.

#### 1.4 Mesures de puissance électrique

1.4.1 Comme c'est en fait ce que l'on cherche à minimiser, on a un avantage certain à "voir" ce que l'on fait.

1.4.2 d'autant plus si l'on a une possibilité d'adaptation continue, et non pas par pallier comme avec les vitesses, l'optimisation passe nécessairement par un suivi continu, comme nous allons vous le présenter avec le variateur de fréquence développé à cet effet.

1.5 Le relevé des mesures de consommation d'énergie de chauffage des années passées.

Deux bornes vont nous guider dans l'ampleur de nos mesures.

1.6 L'enjeu énergétique de l'intervention. Il est bien clair que lorsque les PUISSANCES et les ENERGIES en jeu sont FAIBLES, les mesures de redimensionnement seront limitées, soient que :

1.6.1 les PUISSANCES INSTALLEES sont inférieures à 25-50W soient que

1.6.2 les PUISSANCES A INSTALLER seront inférieures à 25 W.

1.7 L'(in)expérience dans ce type d'intervention.

Spontanément, plus un domaine m'est étranger, plus je me renseigne et je prends de précautions.

La méthode " technique " que nous allons donner, malgré toutes les précautions dont on pourra s'entourer, de par le simple fait d'une intervention "à la baisse ", va se heurter à des réticences qui peuvent lui être fatales, si le succès technique tarde trop, ou que l'on a heurté des susceptibilités. Il s'agira aussi, de cas en cas, d'apprécier jusqu'où l'on peut aller "psychologiquement " pour ne pas mettre en péril la suite des interventions.

Avant d'entreprendre des mesures, par souci d'efficacité, on aura en tête l'acquis de précurseurs et ses propres expériences.

2° Des notions préalables relatives aux

2.1 moyens techniques disponibles

- il n'y a pas de pompes de circulation endessous de 20 ou 25 Watt

- 50 l/h est une limite de débit minimale raisonnable à travers un radiateur lorsqu'on ne dispose pas de mesure de débit pour garantir une valeur inférieure.

- le dimensionnement théorique des installations de distribution de chaleur ne permet pas d'atteindre des valeurs aussi basse de puissance de pompe que la mesure in situ. Fréquemment, une des composantes de la puissance des pompes, la hauteur manométrique de refoulement peut-être pratiquement comprise entre 0,5 et 1 mCE .

2.2 ordres de grandeur pratiques et d'accessibilité immédiate:

- 1 Watt / 1 radiateur est une limite supérieure qui ne présente plus guère de difficulté, si ce n'est de trouver des pompes assez petites.

- le rapport entre l'énergie électrique consommée par la pompe et l'énergie de chauffage se situera de préférence vers 1 ‰ mais pas au-delà de 3 ‰

ou exprimé en rapport de puissance,

la puissance de la pompe de circulation devrait se limiter à 0,3 ‰ de la puissance de chauffe et surtout rester en-dessous de 1 ‰.

Les mesures, aspect essentiellement technique de notre méthode, que nous allons étayer le plus solidement possible, doivent impérativement être accompagnées par des évolutions psychologiques ( la volonté d'évoluer et la suppression de la crainte de ne pas pouvoir fournir la prestation ), sans lesquelles aucune évolution déterminante ne se fera, et sur lesquelles nous avons malheureusement moins de prise.

3° La volonté de réduire la puissance installée.

Que cette volonté ait comme origine :

la prise de conscience de la nécessité de réduire toute consommation superflue

un problème de bruit à résoudre

un intérêt économique à intervenir pour réduire la puissance de la pompe, ( en vendant du matériel ou de la force de travail )

elle devra être à l'image de son ambition, - d'une part parce que l'ampleur des réductions a souvent effrayé même les âmes les mieux nées, mais surtout parce que toute démarche nouvelle se heurte à l' "efficacité" passée.

N'oublions pas que nous devons aussi notre bien être actuel aux interventions massives et pleines d'énergie de nos prédécesseurs.

Cette volonté peut bien entendu être soutenue par: - l'environnement social, le locataire ou le gérant d'immeuble qui voit d'un bon oeil un léger inconfort passager pour une amélioration future durable

- l'économie qui met à disposition du matériel plus efficace et à des conditions intéressantes

- le législateur qui peut édicter des mesures encourageant les interventions de réduction de puissance vraiment efficaces, plutôt qu'en obligeant au contraire à des augmentations de puissances.

**3. Les MOYENS** que nous allons mettre en oeuvre sont de 3 types, mais nécessairement complémentaires pour atteindre l'objectif d'interventions massives et importantes

- 3.1 La FORMATION PROFESSIONNELLE avec quelques aspects théoriques, mais surtout pratiques, sous 2 formes parallèles
  - 3.1.1 Dans des cours d'impulsion comme le programme RAVEL, incluant des work-shops dans des installations, mais aussi
  - 3.1.2 Dans les cours traditionnels des écoles professionnelles, techniques et d'ingénieurs, dont les enseignants sont ouverts à notre démarche.
- 3.2 La mise à disposition de tout le matériel adéquat et nécessaire à la mise en oeuvre de notre méthode :
  - 3.2.1 Un VARIATEUR de fréquence pour réduire la puissance de la pompe et optimiser son point de fonctionnement servant soit :
    - 3.2.1.1 -d'instrument de diagnostic soit
    - 3.2.1.2 installé à demeure

en fonction de l'optimum économique.
  - 3.2.2 Un CAPTEUR de PRESSIONS DIFFERENTIELLES

ayant deux rôles essentiels et un rôle complémentaire

  - 3.2.2.1.1 Déterminer la pression motrice de la pompe, afin de savoir si elle
    - correspond en gros à la caractéristique indiquée par le constructeur
    - quel est l'ordre de grandeur du débit mis en mouvement par la pompe à 50 / 30% près
    - quel est le niveau de pression différentielle motrice effectif, en sachant que moins d' 1mCE devrait suffire dans la plupart des cas.

### 3.2.2.1.2 Déterminer la chute de pression de chaque groupe

- en sachant que l'on peut, la plupart du temps, se situer entre 0,5 et 1 mCE, mais qu'il y a aussi bien des installations qui fonctionnent à pleine satisfaction avec moins de 0,5 MCE.

Rappelons à ce sujet,

a) que la force motrice du thermosiphon pour un immeuble de 5 étages, de 18 mètres de haut et d'une chute de température de 20K, n'est que de 0,22MCE. b) que la nécessité d'une autorité des vannes thermostatiques, mais surtout les fortes pertes de charges qui leur étaient liées, perd de son acuité dans les installations à débit variable, où le réseau est autostable quel que soit la position des vannes thermostatiques.

On peut donc "économiser" plusieurs dizaines de centimètres de pertes de charge dans la distribution.

- La mesure de la pression différentielle des groupes, permet par simple arrêt ou mise en marche des pompes et des vannes de régulation de constater l'indépendance des groupes, et d'identifier les pompes surdimensionnées.

### 3.2.2.1.3 La pression différentielle du collecteur-distributeur est un indicateur efficace quant à la précision de dimensionnement de l'installation :

- annoncé " sans pression " il ne doit pas en avoir

- et lorsqu'il est annoncé quelques dizaines de centimètres, les mètres ne sont pas de mise

### 3.2.2.2 Le capteur de pression différentielle, branché sur un groupe, constituera le retour d'information le plus efficace de l'installation par rapport aux variations imposées par le variateur de fréquence.

Cette démarche à l'avantage d'être significative en temps réel, et exécutable par 1 seule personne.

3.2.2.3 La mesure de pression différentielle aux bornes d'un diaphragme calibré, peut être aisément transformée en débit. On y aura recours dans différents cas:

3.2.2.3.1 La mesure des débits sur les utilisateurs lorsqu' elle est déjà systématiquement installée

3.2.2.3.2 La mesure des débits à travers les utilisateurs, lorsque c'est la source d'information la plus facile à installer.

C'est le cas notamment des installations sans prise de pression, équipées de vannes thermostatiques conventionnelles, où l'on peut remplacer aisément en un point haut de l'installation cette vanne par une vanne avec mesure de débit incorporée.

3.2.2.3.3 La mesure des débits sur les vannes de pied de colonne, surtout en phase de diagnostique, puisqu'après on s'efforcera de minimiser les pertes de charge en distribution, en ouvrant les vannes au maximum et en réduisant les débits et que l'on aura alors plus d'indications utilisables.

3.2.3 Des REGULATIONS ayant pour objectif de ne faire tourner les pompes que lorsque c'est nécessaire,

3.2.3.1 arrêt en été, avec une mise en marche de quelques minutes par jour pour éviter le blocage qui a pour effet qu'une partie des petites pompes tournent encore toute l'année

- 3.2.3.2 démarrage à plus haute puissance que nominale, afin d'avoir un fonctionnement continu aussi économe que possible, ceci pour deux effets d'hystérèse qui se superposent et vont dans le même sens, celle du démarrage du moteur électrique, celle du "démarrage " de l'irrigation de toute l'installation
- 3.2.3.3 mise en marche de la pompe, que lorsque l'effet thermosiphon ne suffit plus.
- 3.3 S'adresser dans son langage à tout le PUBLIC CIBLE concerné par le dimensionnement des pompes de circulation.
- 3.3.1 Tous ceux qui ont la fonction de dimensionner ou de redimensionner les pompes de circulation.  
  
Il s'agit de leur transmettre les nouveaux ordres de grandeur cités précédemment, ainsi que les concepts et les techniques " de mesure " pour y parvenir.
- 3.3.2 Les responsables d'installations de chauffage.  
Il faut aussi leur transmettre les ordres de grandeur et que la perception qu'une vanne partiellement fermée provoque une dégradation d'énergie et des problèmes divers.
- 3.3-3 Les architectes.  
Il faut leur transmettre des ordres de grandeur et le fait que tous les systèmes ne sont pas équivalents énergétiquement parlant, qu'une installation monotube par exemple, si elle présente pour eux un avantage esthétique et/ou économique, implique des surcoûts énergétiques.
- 3-3.4 Les locataires, qui constaterons une forte différence de température entre l'entrée et la sortie de leur radiateurs, qui en déduirons un mauvais fonctionnement ( qui peut être réel ), et inciterons l'intervenant à faire marche arrière.
- 3.3.5 L'OFEN qui impose le DIFC et les compteurs de chaleur ayant 2 MCE de perte de pression à débit nominal (cf catalogues des fournisseurs).

De fait, si l'on considère un appartement de 90 m<sup>2</sup> chauffé par 7 radiateurs, selon les recommandations SIA, 140 l/h devrait être le débit maximum ( nominal ) traversant le compteur. La perte de charge est bien sûr très faible, mais la précision requise pour l'ensemble du compteur +/- 8% n'est très vite plus tenable lorsque pour la mesure de débit elle s'élève toute seule à 5%.

3.4 Les mesures d'ordre INCITATIF, de la part

3.4.1 des autorités fédérales et cantonales - législatif

3.4.2 des campagnes d'assainissements épaulées financièrement comme soutien d'investissement et comme garantie au risque

3.4.3 des régies fédérales sur leur parc immobilier

3.4.4 des propriétaires institutionnels

4. HISTORIQUE Un aperçu de l'histoire de l'introduction des pompes de circulation, va nous permettre de comprendre tout ou partie de la situation actuelle des pompes, de leur environnement technologique et des corrections qu'il s'agit d'apporter si l'on veut efficacement réduire la puissance et la consommation électrique.
- 4.0. Chauffage individuel.  
 Une des merveilleuses inventions de l'homme, comme tout le monde le sait, est le feu. Pour se chauffer, cuire ses aliments et tenir la nuit ses prédateurs à distance. Un des aspects géniaux de l'invention, dont n'a pu profiter aucun animal sauvage, est que pour maintenir sa température constante à 37°C, il a trouvé plus facile de limiter ses déperditions en augmentant la température de son environnement immédiat, plutôt qu'en consommant plus d'aliment servant de carburant à son organisme. Ses gains ont été multiples :
- 4.0.1 D'abord il sollicitait moins son organisme. Et ce soulagement ne fut sans doute pas sans effet sur notre augmentation de longévité.  
 L'espérance de vie des Groenlandais, -dominion danois-, n'est que de 60 ans à la naissance, de plus de 11 ans inférieure à celle des danois de métropole, alors que pour les trois principales causes de décès - maladies de coeur ischémique, tumeurs malignes (cancers), maladies cérébro-vasculaires - les Groenlandais en meurent respectivement - 75%, 50%, et 20% - en moins, selon l'OMS. Par contre l'augmentation du métabolisme basal (donc déjà au repos), de par l'augmentation due aux déperditions, provoque une augmentation simultanée de pertes exergétiques et une augmentation de dégradation ( cf Thèse de Magdi BATADO " Energétique du corps humain " Ed. presses polytechniques romandes 1989).  
 En 1982, Alfred SAUVY - célèbre démographe français dans " La machine et le chômage " corrélait la durée de vie, notamment mais explicitement, avec l'augmentation de calories ( 500 à 1000 ) ingérées par les plus pauvres ( dans un environnement quotidien annuel moyen de plusieurs degrés en-dessous d'aujourd'hui).  
 Un moyen confortable de brûler des calories, de maigrir, qui est une phobie très répandue, ne serait-il pas ainsi de vivre dans des pièces moins chauffées tout en ne mangeant pas plus.

- 4.0.2 Le combustible fossile est beaucoup plus aisé et moins dangereux à trouver que des aliments comestibles pour l'homme, et le temps ainsi " gagné " a été investi à l'amélioration de son bien-être.
- 4.0.3 La qualification du combustible est bien moindre que celle des aliments, qui eux mêmes ont un rapport de rendement énergétique lors de leur mise en forme de 1 à 10 entre une calorie absorbée sous forme végétale ou de viande de boeuf (sans compter la cuisson ).

La disposition du feu dans un habit fermé, une grotte tout d'abord puis un habitat construit, n'est qu'une évolution vers l'amélioration du rendement de la récolte et de la combustion du bois.

Le chauffage jusque là n'était bien entendu qu'une affaire strictement locale, autour duquel on s'agglutinait.

Les thermes romains avec leur distribution sous le plancher d'air chauffé centralement et ventilé par un appel de cheminée, est un précurseur resté presque deux mille ans sans évolutions marquantes.

#### 4.1 Thermosiphon

Le premier chauffage " central " à eau chaude de Suisse , fonctionnant par thermosiphon date de 1867.

- 4.1.1 Le confort d'usage apporté par cette nouveauté était immense, malgré les contraintes de réalisations et les calculs de dimensionnement que l'on sait.

- 4.1.2 Relevons ici que si les bâtiments de l'époque étaient moins bien isolés qu'aujourd'hui - ils avaient leur massivité et leurs petites fenêtres pour eux - les exigences de températures étaient bien plus basses que maintenant: - Alfred SAUVY signalait qu'en 1918 on trouvait une température ambiante de 18 °C dans les pièces - en hiver - insupportable et suffocante.

- 4.1.3 Seules quelques entreprises de chauffages expérimentées pouvaient assurer de bons résultats d'exploitation et par conséquent diffuser le mieux être du chauffage central.

Du temps du thermosiphon, l'énergie électrique pour les pompes n'existant pas, elle représentait 0 % supplémentaire par rapport à l'énergie de chauffage.

4.2 Premières pompes de circulation - 1930. Il a fallu l'électrification des bâtiments pour voir l'introduction des premiers accélérateurs de chauffage.

Ce n'est que dans les années 45 à 60 que s'est imposées la systématisation des pompes de circulation.

Au début des années 60, l'énergie électrique des pompes ne représentait pas encore 0,1% de l'énergie de chauffage en Suisse.

4.2.1 C'est donc un environnement technologique qui ne date que d'une trentaine d'années.

Un gros effort de conception et de compréhension théorique et pratique a été fait à l'époque - les dernières mises à jour des ouvrages de RIETSCHEL & RAISS datent de la fin des années 60 -, et la plupart des concepts de base enseignés reposent encore là-dessus.

Les nouvelles priorités, dues aux changements de l'environnement social et technologique, les expériences et mises au point qu'ils nécessitent, mettront sans incitations particulières, une génération avant d'être enseigné dans le cycle naturel.

Ce que nous retiendrons des caractéristiques techniques de ces installations c'est qu'elles sont à débits constants.

4.2.2 Voici les " facilités " apportée par les pompes et leurs maints effets bénéfiques.

4.2.2.1 L'accession de la majorité à plus de confort, parce que la conception des installations s'est trouvée simplifiée.

4.2.2.2 Les installations ont pu être plus étendues, ce qui a donné un meilleur rapport volume habité / surface de refroidissement.

4.2.3 Cette " facilité ", due au fait qu'il n'y avait pas d'enjeu énergétique ou thermique de chauffage a conduit peu à peu au surdimensionnement des pompes.

4.2.4 Les pompes de l'époque peuvent être considérées comme des accélérateurs de débits et se caractérisaient pour une bonne part d'entre elles par :

4.2.4.1 Une faible hauteur manométrique, - à peine quelques multiples de la valeur fournie par le thermosiphon -, soit fréquemment entre 0,3 et 0,5 MCE.

4.2.4.2 Un meilleur rendement du fait des faibles vitesses de rotation et des faibles pertes autour de la roue.

Cette introduction systématique des pompes de circulation avec le laxisme énergétique qui caractérisait cette période, a fini par atteindre à la fin des années 70 quelque 4 à 5% de l'énergie de chauffage ( si l'on se rapporte à 240 MJ/an/M2)

4.3 Au tout début des années 70, on a assisté à l'introduction systématique des vannes thermostatiques. L'objectif était double :

- 1° retrouver dans le chauffage collectif la liberté du confort individuel, en pouvant régler sa température selon ses désirs
- 2° soulager les professionnels du travail fastidieux de l'équilibrage hydraulique.

Les conséquences de l'introduction systématique des vannes thermostatiques ont été multiples:- l'élément essentiel étant sans doute pour les réseaux hydrauliques le passage en régime de débits variables et pour les concepteurs la nécessité de développer une - théorie satisfaisant les nouvelles conditions et exigences de fonctionnement.cf théorie c. Cornu cours équilibrage +

A côté de l'idée remarquable de la vanne

thermostatique d'utiliser l'énergie ambiante dégradée pour régler la température de la pièce, on s'est trouvé confronté à une foule de problèmes théoriques et pratique pour amener les vannes thermostatiques à fonctionner à satisfaction, et ce n'est guère que depuis les essais du Pr. H. ROOS en 1990-91, que le pas décisif a été franchi.

Le fait on s'est assez vite rendu compte qu'il y avait de sérieuses restrictions et contradictions par rapport à la liberté que l'on comptait obtenir.

4.3.1 L'on comptait pouvoir proposer aux gens de se chauffer à leur guise. Or dans les installation hydrauliques existantes on a dû constater que lorsqu'un utilisateur actionnait sa vanne thermostatique, cela influençait le fonctionnement des autres utilisateurs, qui devaient alors intervenir pour retrouver la situation souhaitée. Ce constat a été mis en évidence par deux instances en Suisse:

- 4.3.1.1 La documentation SIA 61, qui dit explicitement que “ les installations doivent être conçue de manière à ce qu'une intervention locale ne perturbe pas exagérément les autres utilisateurs ”.

A l'époque cela n'allait pas de soi et les techniques nécessaires ont été compliquées à souhait en augmentant la quantité de matériel à installer. Nous vous proposons de surmonter cette difficulté en simplifiant à l'extrême vos installations, soit en

- 4.3.1.1.1 Augmentant d'une taille le diamètre des tuyauteries que vous aviez prévues, soit en

- 4.3.1.1.2 Diminuant le débit caloporteur

- 4.3.1.2 Les essais réalisés en 1984 au technicum de Lucerne, mettent en évidence une dérive de la température de fermeture des vannes thermostatiques en fonction de l'augmentation de pression différentielle à leur bornes. La solution pragmatique et efficace que nous vous proposons consiste à maîtriser l'augmentation de la pression différentielle dans un cadre de 1 à 2 pour les émetteurs de chaleur.

- 4-3.2 Comme l'on voulait se passer des réglages et ne pas s'encombrer de toute la gamme des étranglements des vannes thermostatiques, on s'attendait bien à ce que quelques utilisateurs soient sous-alimentés, ce qui bien sûr n'a pas manqué d'arriver, et de manière efficace, on a installé des pompes plus puissantes. De fait, on acceptait de payer le non réglage de l'installation par une surconsommation d'énergie électrique et de chauffage.

La surconsommation électrique venant de la surpuissance de la pompe et la surconsommation de l'énergie de chauffage venant du déséquilibre hydraulique qui devait se rétablir par fermetures successives des radiateurs suralimentés, jusqu'à ce que tous les utilisateurs soient alimentés. Mais la fermeture automatique ne se faisant souvent que plusieurs degrés audessus de la température de consigne, par une très grande surpression différentielle aux bornes du fait qu'une partie des radiateurs devait déjà être fermés.

Une des premières conséquences du surdimensionnement des pompes qui a interpellé les utilisateurs de vannes thermostatiques, ce n'est ni la consommation électrique, ni la consommation d'énergie de chauffage, c'est un autre signe de dégradation inutile d'énergie, le bruit.

- 4.3.3 Très tôt les fabricants de vannes thermostatiques ont annoncé que sous peine d'apparition de bruit, il fallait limiter à 1 MCE la pression différentielle aux bornes de leur vannes.  
Ce qui nous a fait dire il y a quelques années qu'il fallait limiter la pression motrice des pompes de circulation à 2 MCE si l'on voulait éviter les problèmes de bruit : on sait maintenant qu'on peut rester même bien plus bas.  
Deux remarques relatives à des prises de conscience s'imposent ici.
- 4.3.3.1 Avant l'introduction des vannes thermostatiques, lorsque l'on parlait de bruit d'écoulement, l'on entendait par là le bruit de l'eau qui fusait dans toute l'installation à cause d'une pompe surpuissante.
- 4.3.3.2 De nos jours, lorsque l'on parle de bruit d'écoulement, le même phénomène peut encore se passer, mais le bruit dont nous préviennent les fabricants est le bruit du laminage de l'eau dans l'étranglement de la vanne en train de fermer et plus la vanne se ferme, plus elle a d'énergie à détruire, parce que l'eau circulant de moins en moins vite, en détruira de moins en moins.  
Par conséquent, c'est au moment des petits écoulements dans la tuyauterie qu'on aura le plus de bruit -dans la vanne thermostatique couplée à son radiateur-émetteur -.cf Annexe III

Les solutions usuellement proposées acceptent l'état de la pompe surdimensionnée, parce qu'elle a divers avantages, et elles suggèrent de compenser les diminutions de débits locales -donc une augmentation de pression résiduelle- par une augmentation de débit ailleurs, notamment dans un by-pass, pour ne pas trop changer les conditions de fonctionnement générales, ni peut-être de devoir entreprendre de faire évoluer toute la conception du réseau hydraulique

- 4.4 Choc pétrolier - 1973  
C'est à ce moment qu'une première prise de conscience sérieuse s'est faite quant à notre consommation de combustible et l'on s'est efforcé de la limiter avec un certain succès.  
Malgré la baisse de fluide caloporteur, on ne s'est guère préoccupé des puissances de pompes, si bien que sans augmentation sensible de puissance, sa puissance relative, elle a augmenté jusque vers 6 ou 7%.  
Les problèmes de bruit ont forcément augmenté de pair, comme le montre les -études des couples vannes thermostatiques -radiateurs qu'on a entrepris, ainsi que tous les dispositifs de décharge et de réglage qu'on a développés.

#### 4.5 Mesures de débits décentralisées - 1983 -.

C'est en 1983 qu'a été introduite la mesure systématique des débits au niveau des utilisateurs et qu'a pu être visualisé localement le surdébit systématique, même à travers les utilisateurs les plus défavorisés.

Les réglages se sont instantanément heurtés au problème du bruit au moment de la limitation de débit à l'aide de la vis de réglage et du tournevis.

Le problème du bruit était alors tout simplement résolu en n'effectuant pas les réglages, car il y aurait alors eu apparition de bruit au lieu du réglage, et des tiraillements entre le concepteur et le régleur. Le non-réglage de l'époque, va nous être extrêmement profitable lors de nos assainissement de pompes.

#### 4.6 Mesures de différences de pression - 1991

Une campagne de mesure systématique de pression différentielle, sans contrôle de débit dans les installations, a montré la " signature " qu'elle représentait de l'installation, ainsi que les très faibles valeurs dont on pouvait se contenter.

#### 4.7 Avenir

4.7.1 Si l'on n'y prend garde, l'usage continuera d'augmenter la puissance des pompes installées.

4.7.2 L'objectif SIA 380/4 est d'abaisser l'énergie auxiliaire jusqu'à 1 à 2% de l'énergie de chauffage.

4.7.3 L'objectif de cette méthode est 0,1 à 0,2%.

4.7.4 On rencontre malheureusement des entraves législatives comme le DIFC.( Décompte Individuel des Frais de Chauffage

