

## L'utilisation d'éjecteurs : Avantages en termes d'efficacité pour le réglage des échangeurs de chaleur

Traduction de l'allemand

L'article a été publié dans *IKZ Fachplaner*, Februar 2020 sous le titre "Einsatz von Strahlpumpen: Effizienzvorteile für die Regelung von Wärmeübertragern"

Dans le secteur de l'industrie et de la gestion technique des bâtiments, les échangeurs de chaleur constituent la norme. En fonction des applications, différents circuits peuvent être recommandés pour le réglage de leur puissance. La régulation d'admixtion à l'aide d'un hydro-éjecteur, ou simplement éjecteur, est une variante relativement peu connue. La distribution de la chaleur s'effectue alors de manière hydrodynamique, et non électrodynamique comme c'est généralement le cas. Nous vous présentons ce système.

Dans le cas de la régulation du débit massique - fréquemment utilisée et que les experts appellent circuit d'étranglement -, la température d'entrée dans l'échangeur de chaleur est toujours égale à la température de départ primaire dans le réseau de chauffage. Malgré sa grande simplicité, ce circuit présente de grands inconvénients si la différence de température est importante entre départ primaire et secondaire. Ainsi, lorsque la puissance à régler est élevée ou que la charge partielle est très faible, il est nécessaire d'utiliser une vanne de régulation (plus petite) supplémentaire afin d'obtenir un réglage correct (ligne en pointillés sur la figure 1).

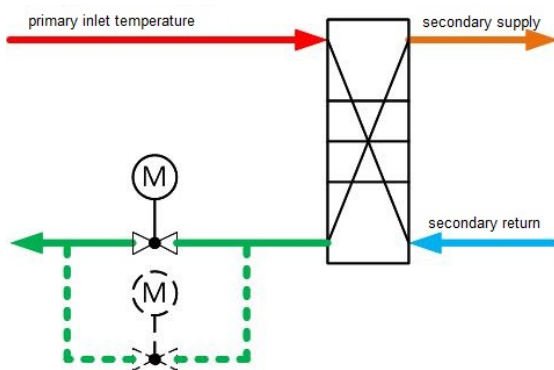


Figure 1 Régulation du débit massique

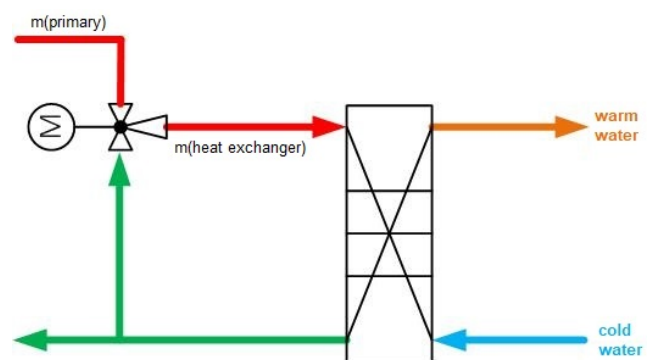


Figure 2 Régulation d'admixtion avec éjecteur Jetomat®

Étant donné que les échangeurs de chaleur atteignent leurs limites de puissance ou de réglage en cas de charge partielle et lorsque les vitesses d'écoulement sont très faibles, il est alors judicieux de recourir à une autre solution. L'une des possibilités est d'utiliser des éjecteurs.

## Comparaison de la régulation du débit et d'admixture

Propriété	Régulation du débit	Régulation d'admixture
Plage de puissance	Au choix	Au choix
Comportement en cas de charge partielle	Vanne de régulation supplémentaire en cas de puissances totales élevées et d'exigences pour le fonctionnement en charge partielle	Aucune mesure supplémentaire → Régulation stable de 0 à 100%
Fluctuations de la pression dans le réseau primaire	Régulateur de pression différentielle supplémentaire nécessaire	Aucune mesure supplémentaire → Le réglage compense les fluctuations de la pression
Écoulement en cas de charge faible	Le débit massique diminue de manière linéaire avec la puissance, écoulement laminaire possible → Pas de mélange des fluides dans l'échangeur de chaleur, le réglage tend à osciller.	L'admixture garantit un débit massique élevé en cas d'écoulement turbulent → Mélange des fluides homogène en permanence
Accumulation de boue	Un faible débit massique provoque un risque d'importants dépôts.	Débit massique constamment élevé → Peu de dépôts possibles.
Entartrage sur le côté secondaire lors du chauffage de l'eau potable	Température d'entrée élevée sur le côté primaire. Donc éventuellement entartrage.	Possibilité de réglage variable de la température d'entrée → Forte réduction de l'entartrage.
Contrainte thermique du matériau dans l'échangeur de chaleur	Température d'entrée élevée sur le côté primaire. Contraintes thermiques inévitables.	Possibilité de réglage variable de la température d'entrée → Seulement des faibles contraintes thermiques, durée de vie considérablement prolongée.

**Tableau 1** Comparaison

Depuis une cinquantaine d'années, le fabricant Baelz utilise des éjecteurs réglés dans les stations d'appartement, les serpentins d'aération, les distributeurs de chauffage et les installations de production d'eau chaude sanitaire dans le secteur de l'industrie et du bâtiment. L'éjecteur joue à la fois le rôle d'une vanne de régulation et d'une pompe. Il fait circuler l'eau dans le circuit de distribution, adapte le débit aux besoins en chauffage de chaque consommateur, régule la température et amortit les fluctuations de la pression différentielle. Il fait ainsi partie intégrante de la boucle de régulation.

## Avantages de la régulation d'admixture

Quelle que soit la charge, une régulation d'admixture améliore la qualité de l'installation par rapport à la régulation du débit massique. L'ajout nécessaire d'une pompe de mélange accroissant la complexité pour les vannes avec un circuit d'admixture, ce système est souvent écarté pour des raisons de coût. En revanche, l'utilisation d'un hydro-éjecteur (Jetomat®) réglé permet de réaliser l'admixture sans mesure supplémentaire. Ainsi, la température d'entrée dans l'échangeur de chaleur côté primaire peut être adaptée de manière optimale aux conditions limites de chaque cas d'application.

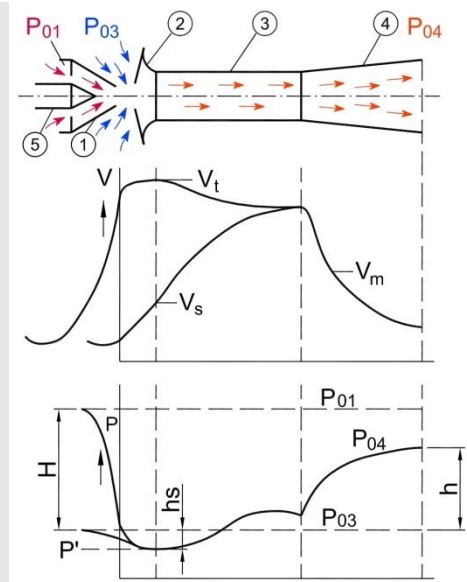


*Figure 3 Sous-station de chauffage urbain prémontée avec éjecteur*

## Principe de fonctionnement de l'éjecteur

La figure montre une représentation schématique d'un éjecteur réglable. Le débit moteur avec pression au repos  $P_{01}$  est accéléré dans la buse motrice convergente ①, puis, à son arrivée dans le tube mélangeur ③, c'est-à-dire à l'extrémité de la gorge ②, il atteint sa vitesse maximale  $V_t$ . Étant donné sa vitesse élevée, le débit moteur entraîne avec lui le débit d'aspiration via le mécanisme des contraintes de cisaillement turbulentes. Le débit d'aspiration avec pression au repos  $P_{03}$  est accéléré dans la gorge ②, puis, à son arrivée dans le tube mélangeur ③, il atteint la vitesse  $V_s$ . Les deux débits se mélangent dans le tube mélangeur ③ via un échange d'impulsions, d'énergie cinétique et d'énergie thermique. À la sortie du tube mélangeur ③, le débit de refoulement a une vitesse  $V_m$ , qui est inférieure à  $V_t$  mais supérieure à  $V_s$ . Dans le diffuseur ④, la vitesse du mélange diminue jusqu'à atteindre une valeur conforme à la pratique.

Dans la buse motrice ① et la gorge ②, les pressions diminuent approximativement selon l'équation de Bernoulli et atteignent leur valeur minimale, la pression commune  $P'$ , à l'arrivée dans le tube mélangeur ③. Dans le tube mélangeur ③, la pression augmente sous l'effet de l'échange d'impulsions susmentionné, tandis qu'elle diminue dans l'extension en raison de la diminution de la vitesse.



1. Buse motrice
2. Gorge
3. Tube mélangeur
4. Diffuseur
5. Clapet

$V$ ,  $V_t$ ,  $V_s$ ,  $V_m$  - Vitesses (débit moteur, d'aspiration, de refoulement)

$P$  - Pression

$H$  - Pression différentielle à l'entrée de l'éjecteur =  $P_{01} - P_{03}$

$h$  - Pression différentielle à la sortie de l'éjecteur =  $P_{04} - P_{03}$

$P_{01}$  - Pression dans le réseau primaire

$P_{03}$  - Pression de retour dans l'installation

$P_{04}$  - Pression de départ dans l'installation

$P'$  - Pression en aval de la buse

$h_s$  - Pression différentielle entre  $P_{03}$  et  $P'$

### Exemple 1 (voir tableau 2)

#### Sous-station de production d'eau chaude sanitaire ayant des besoins de puissance faibles (fonctionnement par circulation, par exemple)

Données du réseau d'approvisionnement en chaleur :

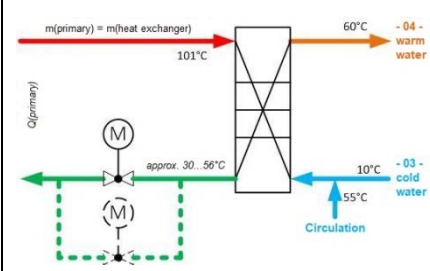
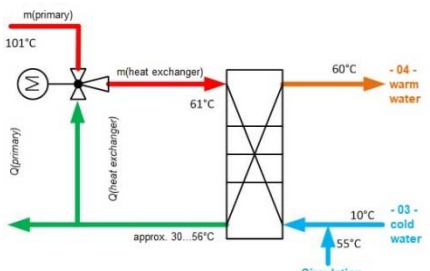
- Température de départ primaire : jusqu'à 130°C en hiver et au moins 75°C en été
- Prise en compte de la période demi-saison avec une température du réseau primaire de 101°C
- Pression différentielle dans le réseau de 0,4 bar à 3,0 bar

Côté secondaire : chauffage de l'eau potable de 10°C à 60°C

## Comparaison : Régulation du débit massique et régulation d'admixtion

Situation initiale : température de circulation dans le système d'eau potable de 55°C, c'est-à-dire environ 56°C pour le retour côté primaire, aucune consommation d'eau chaude, donc la seule charge est celle de la circulation, qui est comprise entre 3 et 5% de la puissance totale de la production d'eau chaude sanitaire.

Bilan en termes de puissance :  $Q \text{ [kW]} = m \text{ [kg/h]} \cdot c \text{ [J/kg} \cdot \text{K]} \cdot \Delta T \text{ [K]}$

	Régulation du débit	Régulation d'admixtion
Exemple avec températures		
Temp. d'entrée primaire	101°C	101°C
Temp. d'entrée échangeur	101°C	61°C
Temp. de sortie primaire	56°C	56°C
Débit massique primaire [kg/h]	m (primaire)	m (primaire)
Débit massique traversant l'échangeur [kg/h]	m (échangeur = m(primaire))	m (échangeur) = 9 • m (primaire)

**Tableau 2** Comparaison du débit d'eau chaude produite en cas de fonctionnement en charge partielle

Calcul du rapport de débit massique :

$Q \text{ (primaire)} = m \text{ (primaire)} \cdot \text{capacité thermique spécifique } c \cdot (\text{température de départ} - \text{température de retour})$

Régulation du débit massique :

$$Q \text{ (primaire)} = m \text{ (primaire)} \cdot c \cdot (101^\circ\text{C} - 56^\circ\text{C})$$

Régulation d'admixtion :

$$Q \text{ (échangeur)} = m \text{ (échangeur)} \cdot c \cdot (61^\circ\text{C} - 56^\circ\text{C})$$

Égalisation :  $Q \text{ (primaire)} = Q \text{ (échangeur)}$

$$m \text{ (primaire)} \cdot c \cdot (101^\circ\text{C} - 56^\circ\text{C}) = m \text{ (échangeur)} \cdot c \cdot (61^\circ\text{C} - 56^\circ\text{C})$$

$$m \text{ (primaire)} \cdot 45^\circ\text{C} = m \text{ (échangeur)} \cdot 5^\circ\text{C}$$

$$m \text{ (échangeur)} = m \text{ (primaire)} \cdot 45/5$$

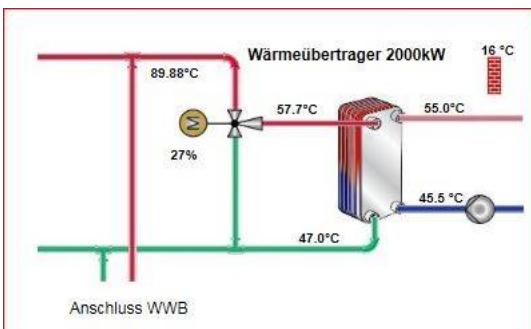
$$m \text{ (échangeur)} = m \text{ (primaire)} \cdot 9 \text{ (voir tableau 2)}$$

Dans cet exemple, pour l'échauffement de l'eau potable, la régulation d'admixtion permet d'atteindre un débit d'eau 9 fois plus élevé en charge partielle que la régulation du débit massique. Pour les autres températures et charges, le rapport du débit varie, mais la régulation d'admixtion est toujours plus avantageuse : plus la diminution de la charge est faible, plus le débit d'eau traversant l'échangeur de chaleur est élevé par rapport à la régulation du débit massique. Les avantages qui en résultent sont résumés dans le tableau 1.

## Exemple 2 :

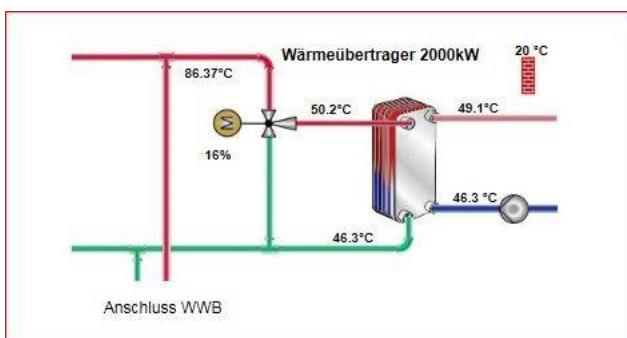
### Station de transfert de chauffage urbain de 2 000 kW dans deux cas de charge différents

A) Régulation de la charge partielle à une température extérieure de 16°C



$$\begin{aligned} m(\text{primaire}) \cdot (89,88^\circ\text{C} - 47^\circ\text{C}) &= \\ m(\text{échangeur}) \cdot (57,7^\circ\text{C} - 47^\circ\text{C}) & \\ m(\text{primaire}) \cdot 42,88^\circ\text{C} &= m(\text{échangeur}) \cdot 10,7^\circ\text{C} \\ m(\text{primaire}) \cdot 42,88 / 10,7 &= m(\text{échangeur}) \\ m(\text{primaire}) \cdot 4 &= m(\text{échangeur}) \end{aligned}$$

B) Régulation de la charge partielle à une température extérieure de 20°C



$$\begin{aligned} m(\text{primaire}) \cdot (86,37^\circ\text{C} - 46,3^\circ\text{C}) &= \\ m(\text{échangeur}) \cdot (50,2^\circ\text{C} - 46,3^\circ\text{C}) & \\ m(\text{primaire}) \cdot 40,07^\circ\text{C} &= m(\text{échangeur}) \cdot 3,9^\circ\text{C} \\ m(\text{primaire}) \cdot 40,07 / 3,9 &= m(\text{échangeur}) \\ m(\text{primaire}) \cdot 10,27 &= m(\text{échangeur}) \end{aligned}$$

Dans le cas de charge A) avec une température extérieure de 16°C, lorsque l'organe de réglage (éjecteur) atteint 27% de sa course, le débit d'eau avec l'admixtion est 4 fois supérieur à celui obtenu avec la régulation du débit massique. Dans le cas de charge B) avec une température extérieure de 20°C, le débit d'eau traversant l'échangeur de chaleur est plus de 10 fois supérieur avec l'admixtion.

Pour une admixtion avec éjecteur, il est nécessaire que le réseau d’approvisionnement soit soumis à une pression différentielle minimale. Les valeurs les plus adaptées sont d’au moins 30 à 40 kPa, mais des pressions différentielles plus élevées, par exemple 600 kPa (6 bar), sont aussi possibles. Les composants sont dimensionnés en fonction de la pression différentielle minimale attendue. La régulation d’admixture avec un éjecteur permet de compenser de manière stable les fluctuations de la pression différentielle.

Suivant la dynamique du processus à réguler, il convient d’utiliser des servomoteurs électriques d’une vitesse de réglage comprise entre 6 et 130 mm/min. Il est également possible d’installer dans les servomoteurs (230 V ou 24 V) des régulateurs numériques auxquels peuvent être branchés jusqu’à 4 capteurs de température. La boucle de régulation est livrée préconfigurée et peut être utilisée immédiatement.

## Conclusion

La régulation d’admixture a fait ses preuves dans des centaines d’installations pour une régulation parfaite d’un échangeur de chaleur. Un grand nombre de fournisseur d’énergie municipaux en Allemagne préfèrent cette technologie, et aussi des groupes d’entreprises dans l’industrie automobile et pharmaceutique apprécient la durabilité de la régulation avec éjecteurs.

## Auteur

Marc Gebauer, ingénieur et responsable des ventes

## Entretien

**IKZ FACHPLANER :** De quoi faut-il tenir compte pour planifier une régulation d'admixtion basée sur un éjecteur ?

**Marc Gebauer :** La régulation d'admixtion se fonde sur l'admixtion de retour. Pour réaliser l'admixtion sans pompe de circulation supplémentaire, il est nécessaire d'utiliser un réseau primaire soumis à une pression différentielle. Celle-ci doit être au moins deux fois supérieure à la résistance hydraulique du consommateur, ce qui signifie que l'autorité de vanne est supérieure à 50%. En cas d'utilisation pour régler des échangeurs de chaleur, il est possible de déterminer la perte de charge de l'échangeur de chaleur sur la base de la pression différentielle dans le réseau. En cas d'utilisation dans des distributeurs de chauffage, il convient d'adapter la pompe principale à la perte de charge des circuits de chauffage. Il n'est pas nécessaire de tenir compte du circuit de chauffage le moins performant, car il est aussi possible de concevoir des systèmes mixtes, avec éjecteurs, pompe de circulation et vanne de régulation. La priorité est la rentabilité de l'installation globale.

**IKZ FACHPLANER :** Les pompes à rendement élevé modernes se caractérisent notamment par une faible consommation d'électricité. Quelle est la différence par rapport au système de l'éjecteur en termes énergétiques ?

**Marc Gebauer :** Cette différence dépend du cas d'application. Pour les systèmes de chauffage local dont la pression différentielle est due à leur fonctionnement, les éjecteurs permettent d'économiser 100% de l'énergie électrique dont auraient besoin les pompes de circulation, qui constituent une autre solution. Si les réseaux sont séparés par des échangeurs de chaleur ou si l'injection s'effectue via une bouteille casse-pression, il est nécessaire d'utiliser une pompe principale électrique. Cette pompe principale approvisionne les éjecteurs et présente un meilleur rendement que plusieurs petites pompes à rotor noyé placées dans les différentes boucles de régulation réunies.

**IKZ FACHPLANER :** Passons de la théorie à la pratique : Proposez-vous également des éjecteurs sous forme de modules prémontés, c'est-à-dire des circuits d'admixtion complets ?

**Marc Gebauer :** Nous proposons des modules finis à 90%. Nous fournissons encore des éjecteurs individuels à des clients expérimentés dont nous savons qu'ils possèdent le savoir-faire nécessaire.

**IKZ FACHPLANER :** Est-il possible d'intégrer ces modules prémontés à des systèmes existants, par exemple dans le cadre de mesures de remplacement, ou faut-il des équipements de régulation particuliers pour commander l'éjecteur ?

**Marc Gebauer :** Nous utilisons des éjecteurs dans le cadre de mesures de remplacement. La commande peut s'effectuer via un régulateur déjà présent, mais, pour tirer profit de toutes les possibilités offertes par les éjecteurs, nous recommandons d'utiliser un régulateur du fabricant des éjecteurs, puis de le relier à un système de régulation global par le biais d'un bus de données.

**IKZ FACHPLANER :** En tant que fabricant, dans quelle mesure soutenez-vous les planificateurs de systèmes techniques des bâtiments en termes de conception et de configuration des systèmes ?

**Marc Gebauer :** Nous pouvons sans problème concevoir entièrement les systèmes – sous-stations de chauffage urbain, distributeurs de chauffage, sous-stations de production d'eau sanitaire - et, en cas de commande, nous garantissons aussi le fonctionnement des boucles de régulation des éjecteurs. Ceci permet de vaincre l'appréhension de passer à quelque chose de « nouveau », que nous rencontrons parfois.



Marc Gebauer, responsable des ventes de la région Est, W. Baelz & Sohn GmbH & Co.