Besoin de chauffage et de climatisation dans les bâtiments

Module 2.4
Systèmes de chauffage dans les bâtiments

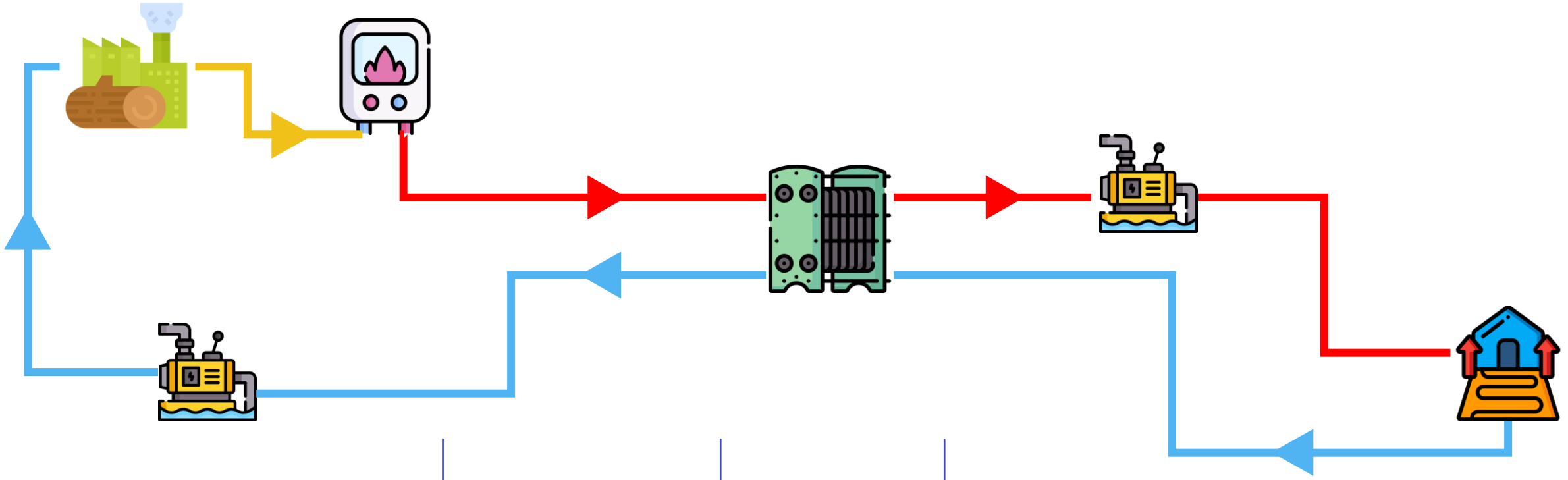
SHaKE – Sharing Heat and Knowledge on Energy Communities
Erasmus+ KA220-HED Cooperation Partnerships in HE
Institution : Mines Paris – PSL
Auteur: Dr. Antoine Fabre
Date: Mars 2026
Version 1.0

SHaKE
Sharing Knowledge on Energy Communities



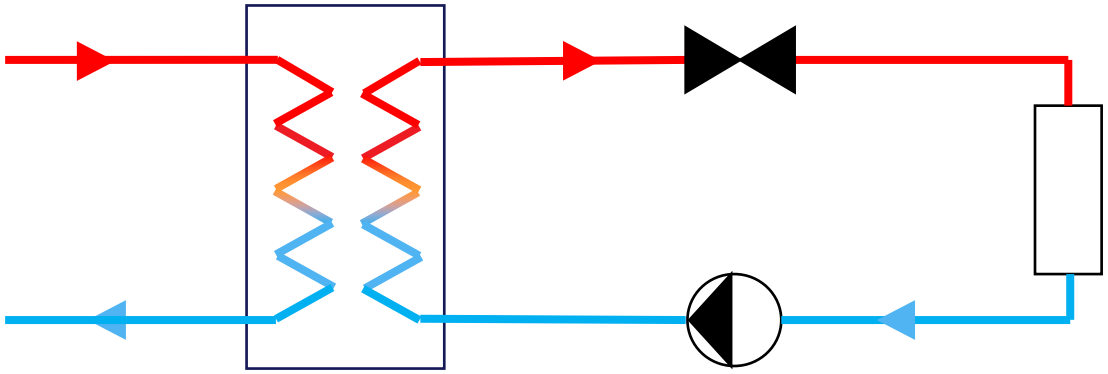
1. Introduction

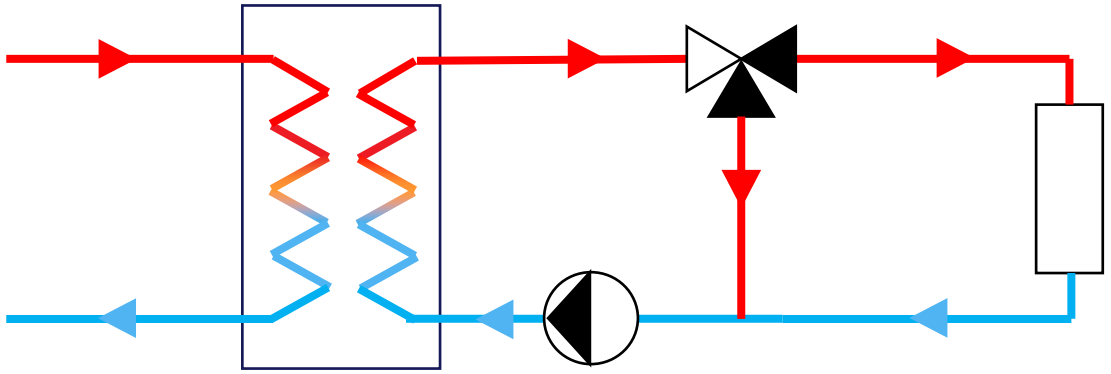
Une fois la consommation des bâtiments déterminée, il convient de choisir et de dimensionner le réseau de distribution



1. Introduction

Une fois la consommation des bâtiments déterminée, il convient de choisir et de dimensionner le réseau de distribution





Quels émetteurs ?

Comment dimensionner les tuyaux ?



Quelles pompes?

Quelles vannes ?

1. Introduction

Une fois la consommation des bâtiments déterminée, il convient de choisir et de dimensionner le réseau de distribution

- Calcul des besoins
- Choix et dimensionnement des émetteurs
- Dimensionnement du réseau de distribution

2. Emetteurs de chaleur

Quels sont les systèmes de distribution et les émetteurs généralement utilisés dans un réseau de chaleur ?

Radiateur



- \+ Prix
- \+ Facile à installer
- − Encombrement
- − Non-réversible

Plancher chauffant



- \+ Encombrement
- \+ Confort
- − Prix
- − Inertie

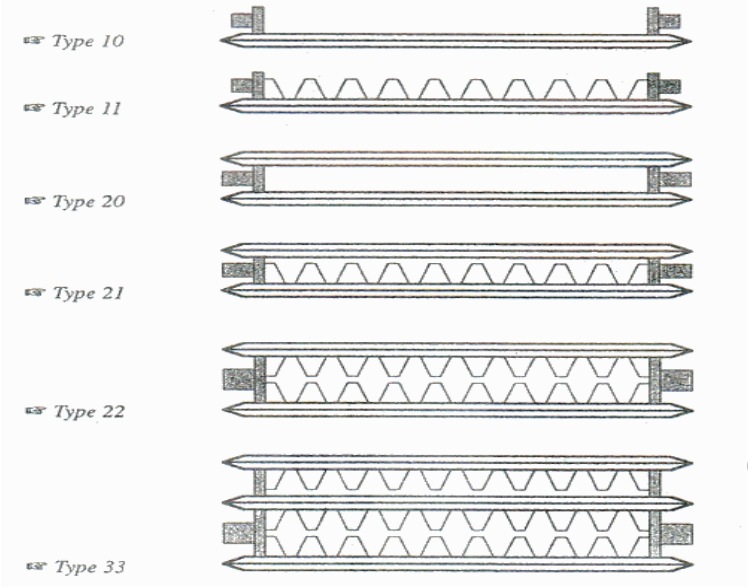
Ventilo-convecteur

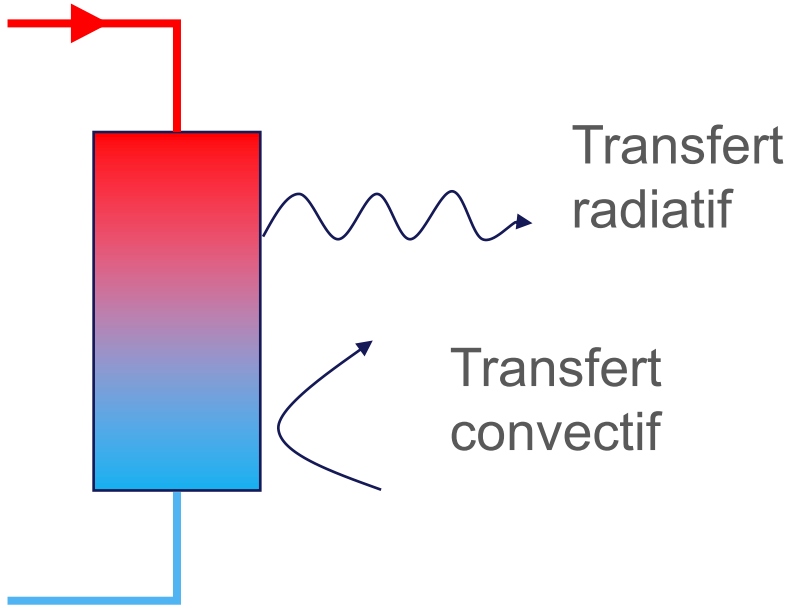


- \+ Encombrement
- \+ Réversible
- − Confort
- − Performance

2.1 Radiateurs





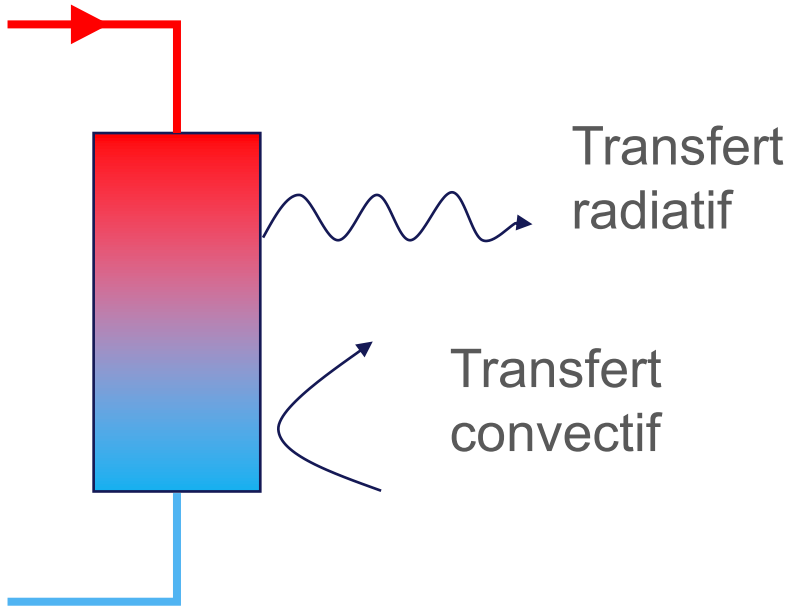


$$\dot{Q}_{con} = h_{conv}\, A \left(\frac{T_{in}+T_{out}}{2} - T_{air}\right)$$

Convection naturelle dépendant de la géométrie et du régime d'écoulement

2.1 Radiateurs





$$\dot{Q}_{con} = h_{conv}\, A \left(\frac{T_{in}+T_{out}}{2} - T_{air}\right)$$

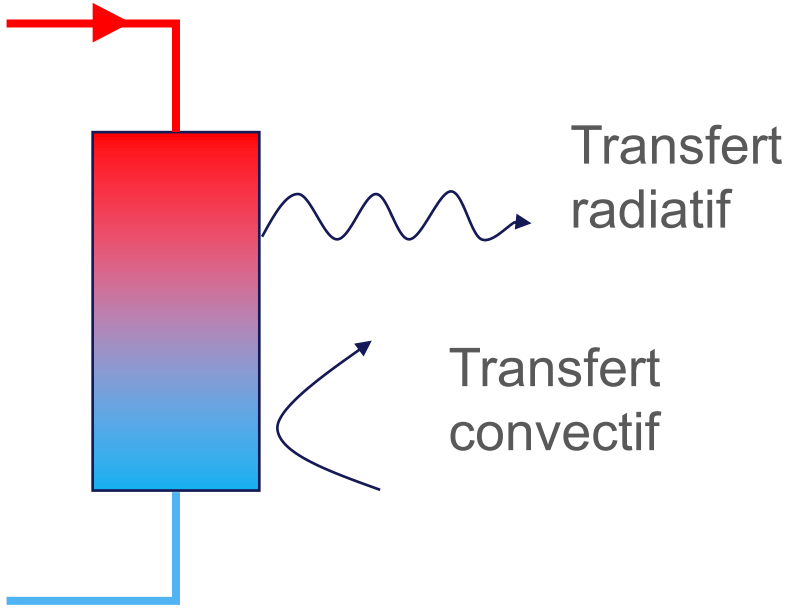
$$\dot{Q}_{rad} = 4\sigma\varepsilon \left(\frac{T_{moy,rad}+T_{op}}{2}\right)^3 A \left(\frac{T_{in}+T_{out}}{2} - T_{op}\right)$$

$$\dot{Q}_{rad} = h_{rad}\, A \left(\frac{T_{in}+T_{out}}{2} - T_{air}\right)$$

$$\dot{Q}_{radiator} = \dot{Q}_{con} + \dot{Q}_{rad}$$

$\approx 70\%$ $\approx 30\%$

2.1 Radiateurs



Selon la norme européenne EN-442 :

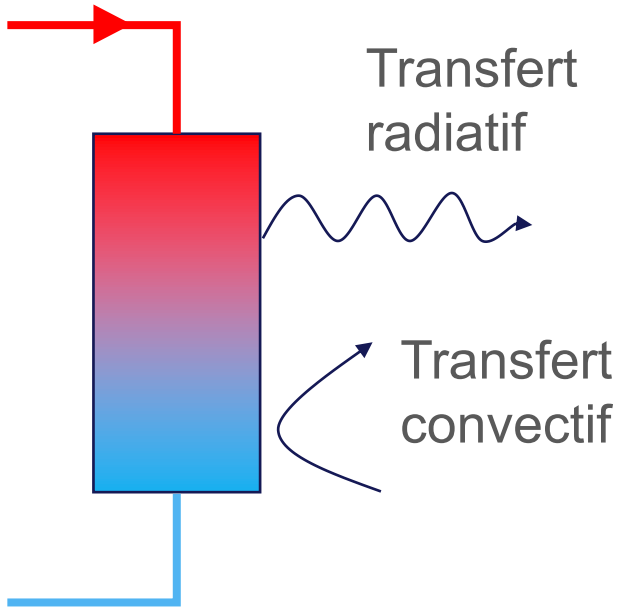
$$\dot{Q}_{radiator} = UA\,\Delta T^{n} = UA\left(T_{moy,rad} - T_{air}\right)^{n}$$

Déterminé à l'aide d'un test fondé sur des normes $1{,}3 < n < 1{,}5$

Différents régimes de température sont possibles. Un régime de température correspond aux températures d'entrée et de sortie de l'eau d'un radiateur au point de conception (par exemple pour $T_{outdoor} = -7°C$)

$T_{in,rad}$	$T_{out,rad}$	$T_{moy,rad}$
80	60	70
75	55	65
60	40	50
55	45	50

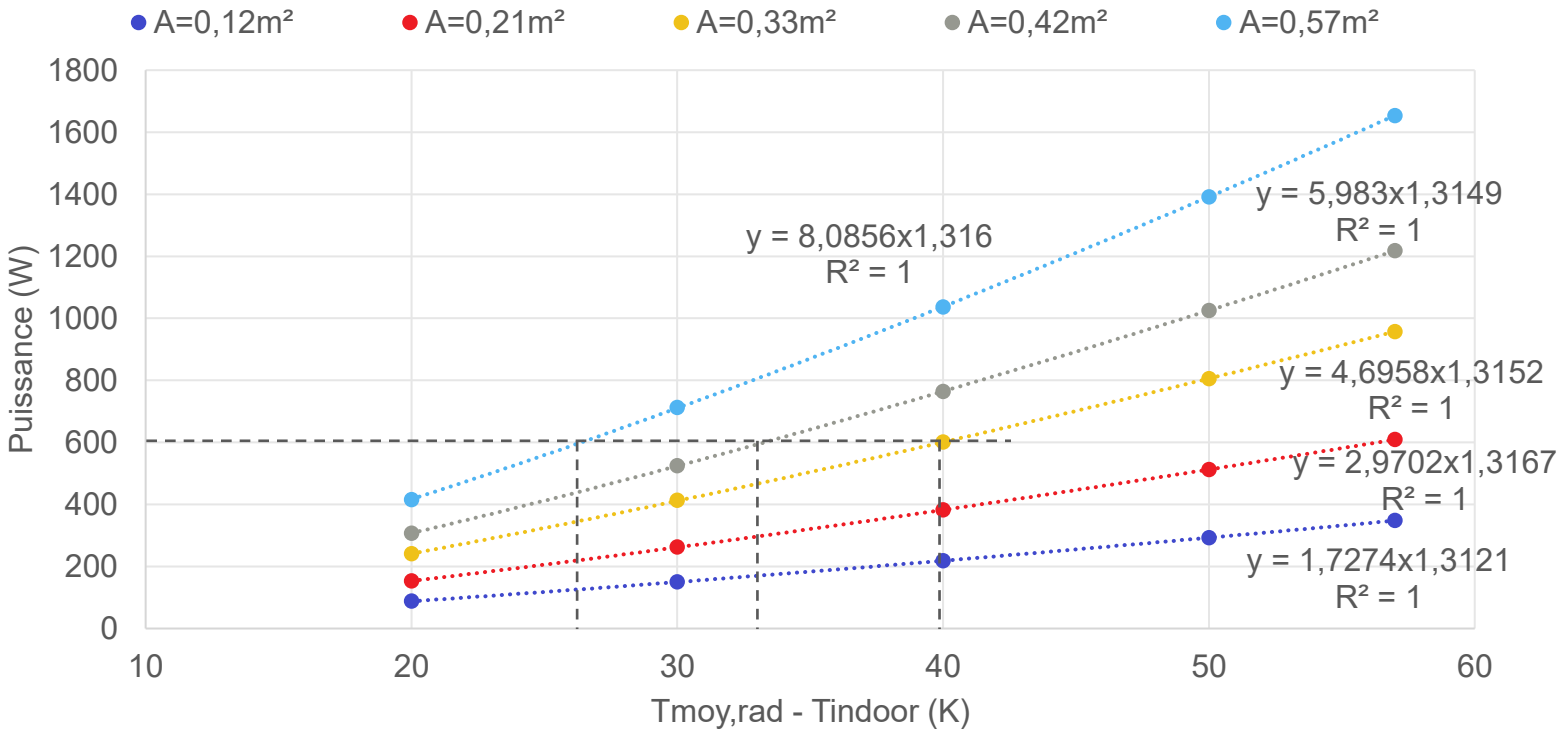
2.1 Radiators



À puissance de chauffage égale, un radiateur dont la température moyenne est plus basse présente une surface plus grande.

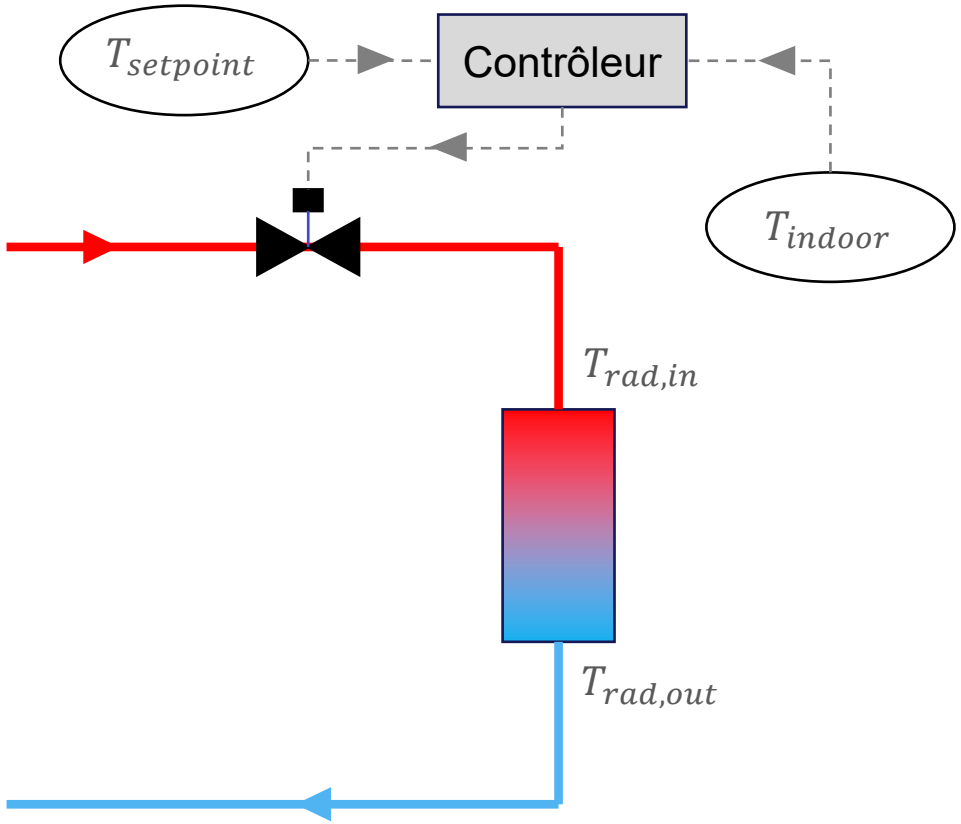
Selon la norme européenne EN-442 :

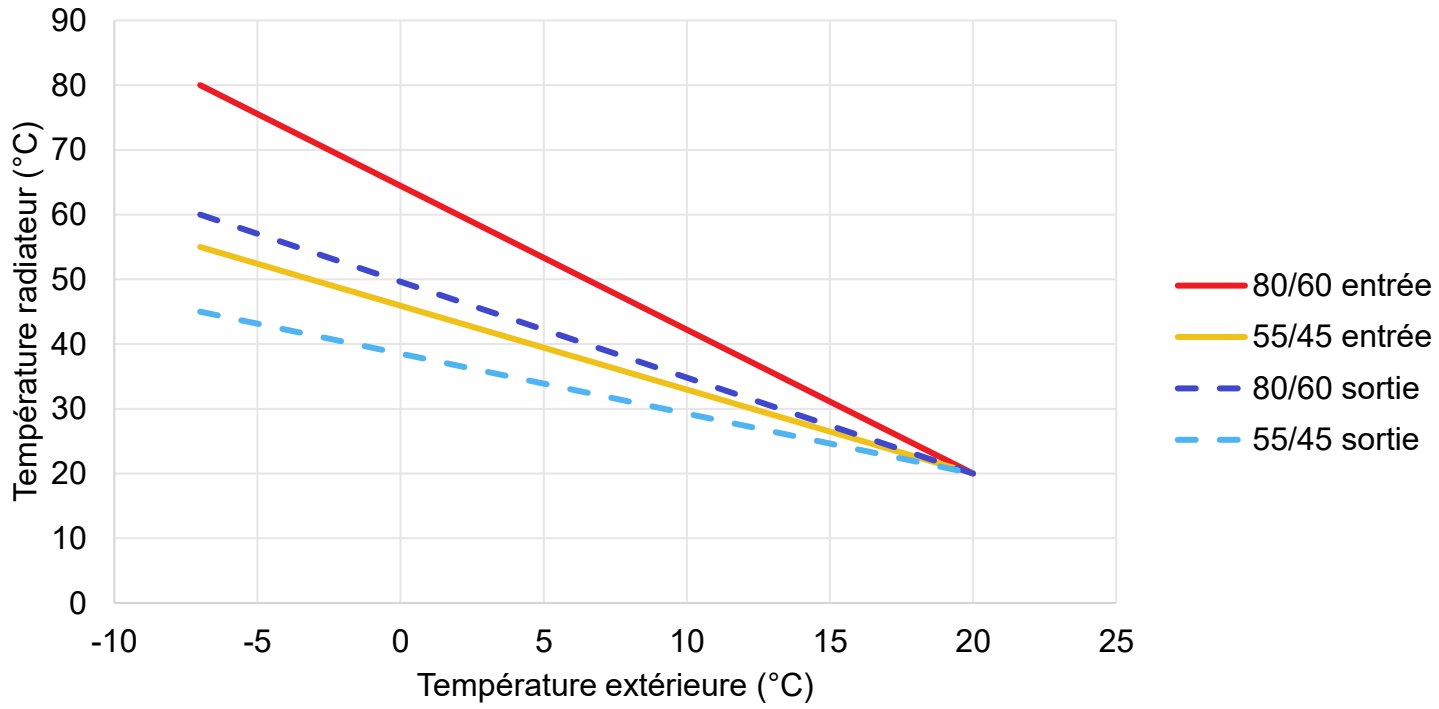
$$\dot{Q}_{radiator} = UA\,\Delta T^{n} = UA\left(T_{moy,rad} - T_{indoor}\right)^{n}$$



2.1 Radiateurs

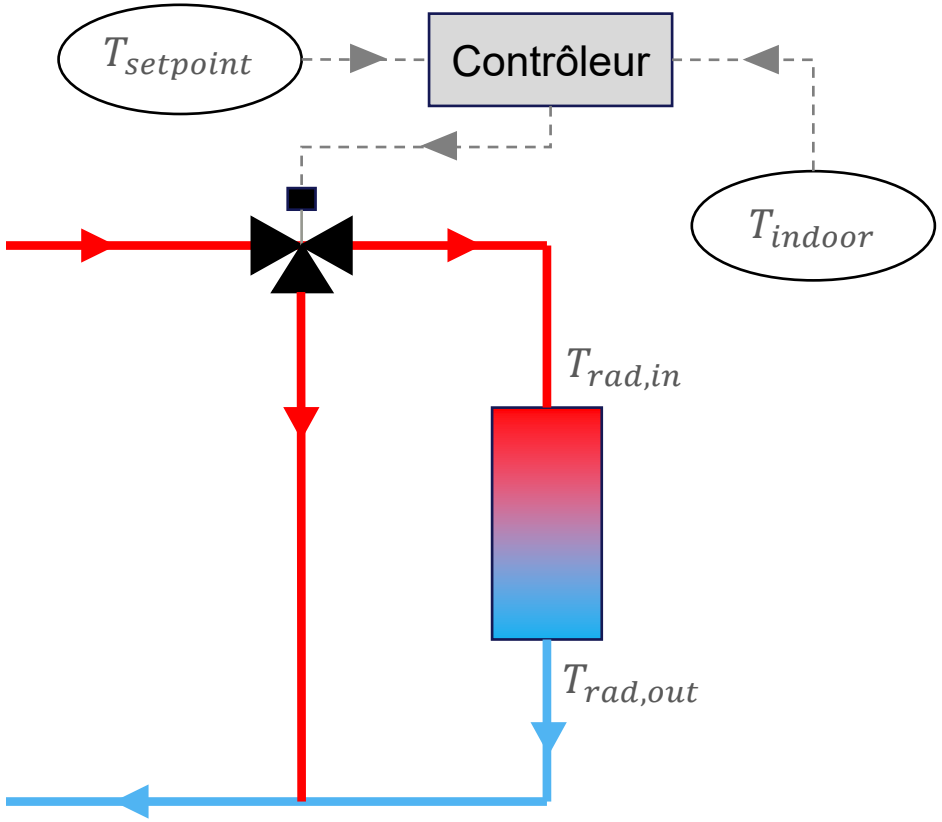
$$\dot{Q}_{radiator} = UA\,\Delta T^{n} = UA\left(T_{moy,rad} - T_{indoor}\right)^{n} = \dot{m}_{rad}\,Cp\left(T_{rad,in} - T_{rad,out}\right)$$

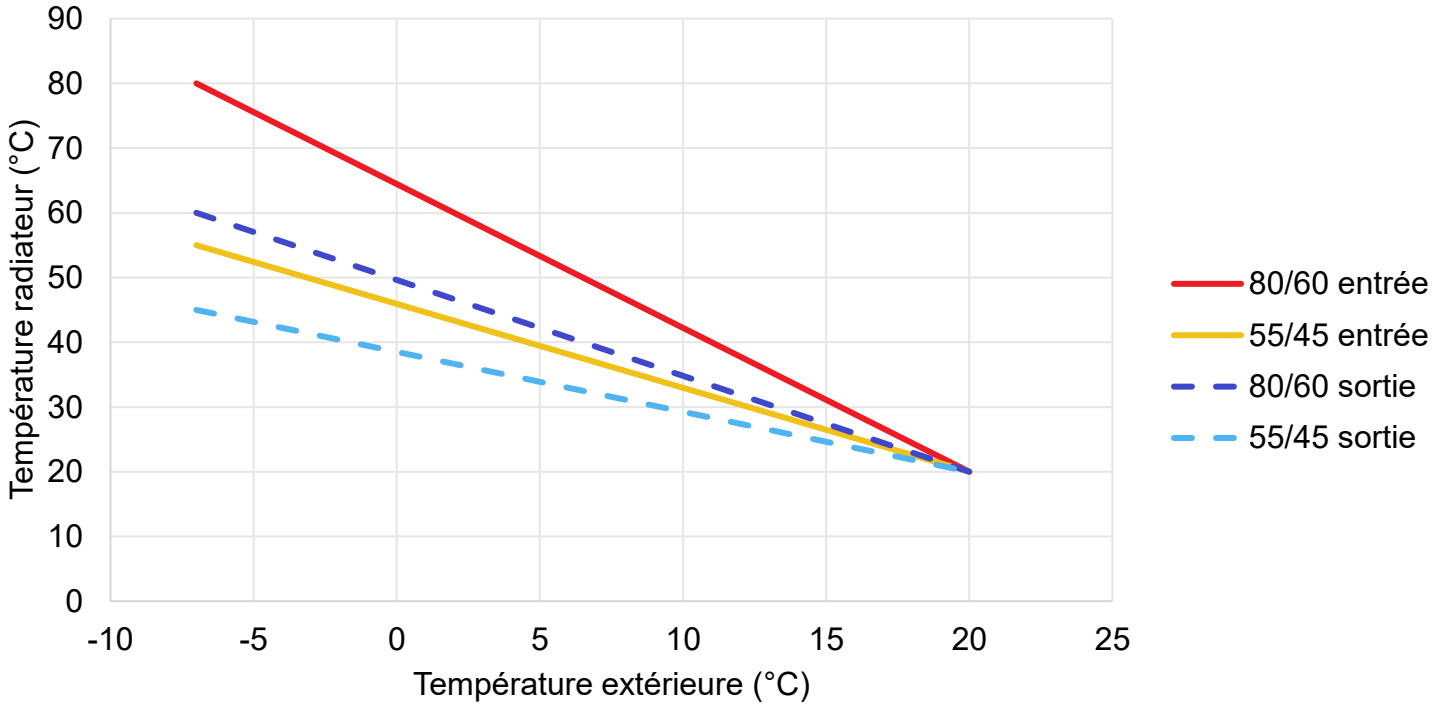




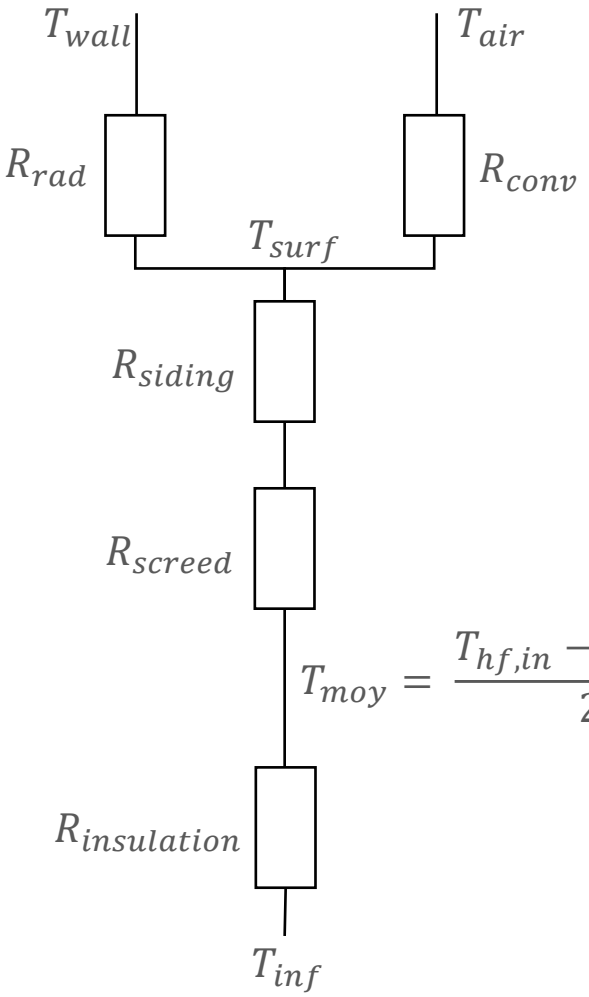
2.1 Radiateurs

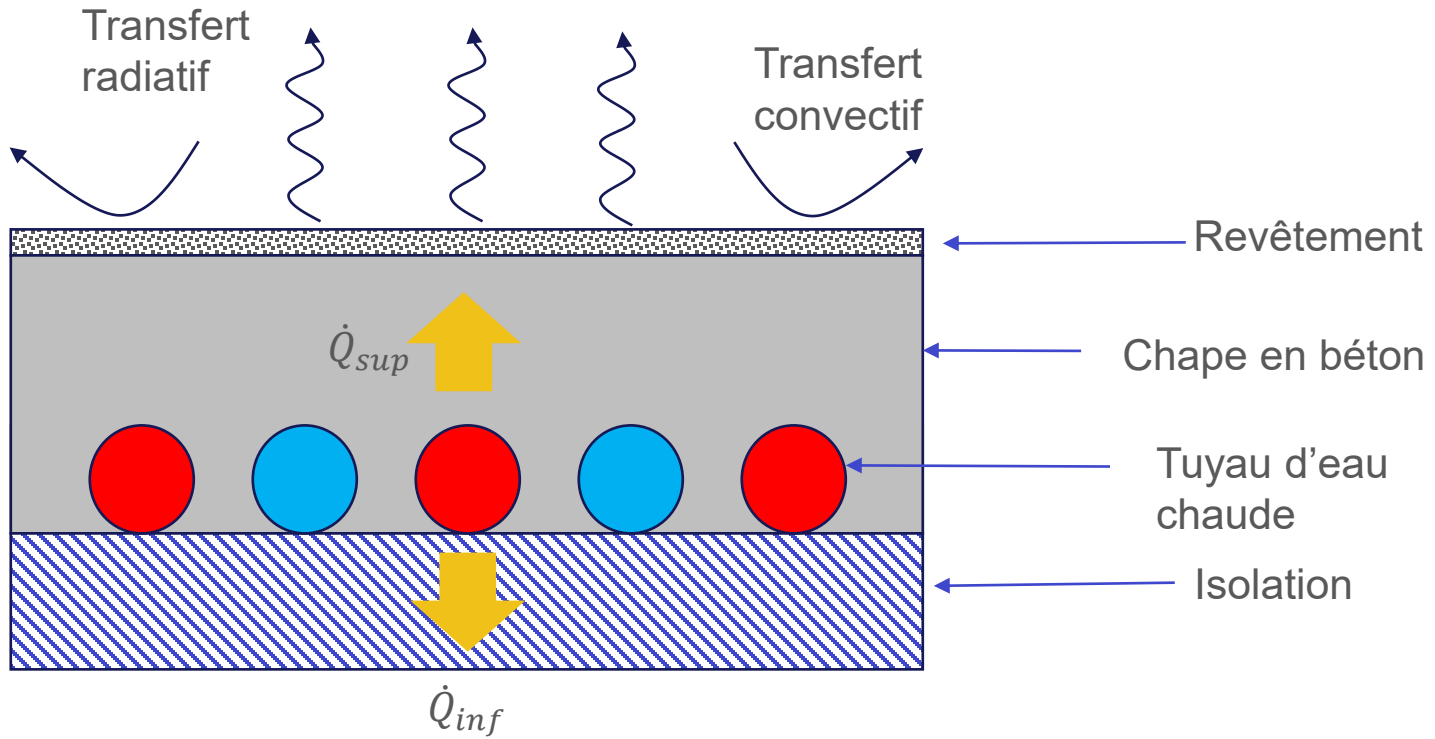
$$\dot{Q}_{radiator} = UA\,\Delta T^{n} = UA\left(T_{moy,rad} - T_{indoor}\right)^{n} = \dot{m}_{rad}\,Cp\left(T_{rad,in} - T_{rad,out}\right)$$





2.2 Plancher chauffant





$$\dot{Q}_{water} = \dot{m}_{water}\, Cp\, \left(T_{hf,in} - T_{hf,out}\right) = \dot{Q}_{sup} + \dot{Q}_{inf}$$

$$\dot{Q}_{water} = \frac{T_{moy} - T_{surf}}{R_{siding} + R_{screed}} + \frac{T_{moy} - T_{inf}}{R_{insulation}}$$

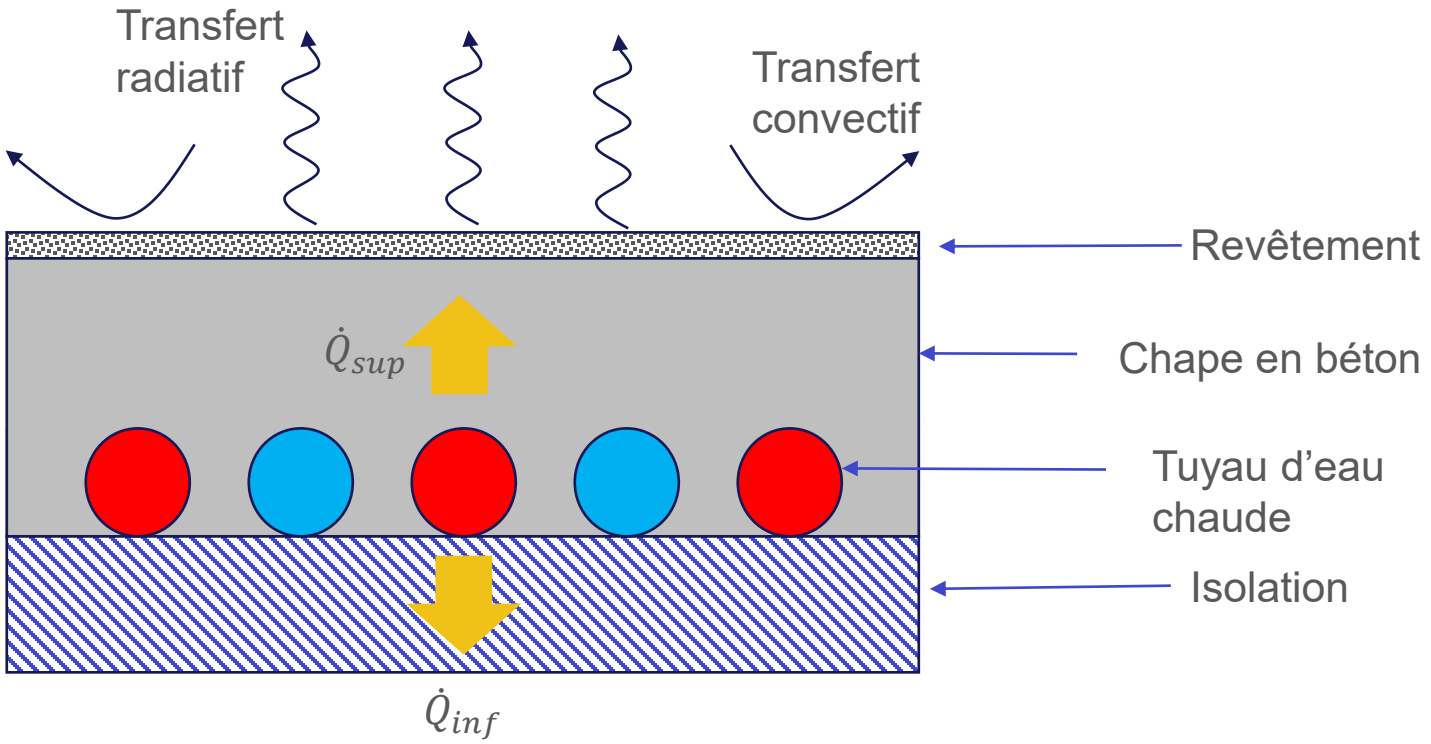
2.2 Plancher chauffant

$\approx 70\%$ $\approx 30\%$

$$\dot{Q}_{sup} = \dot{Q}_{hf} = \dot{Q}_{rad} + \dot{Q}_{conv}$$

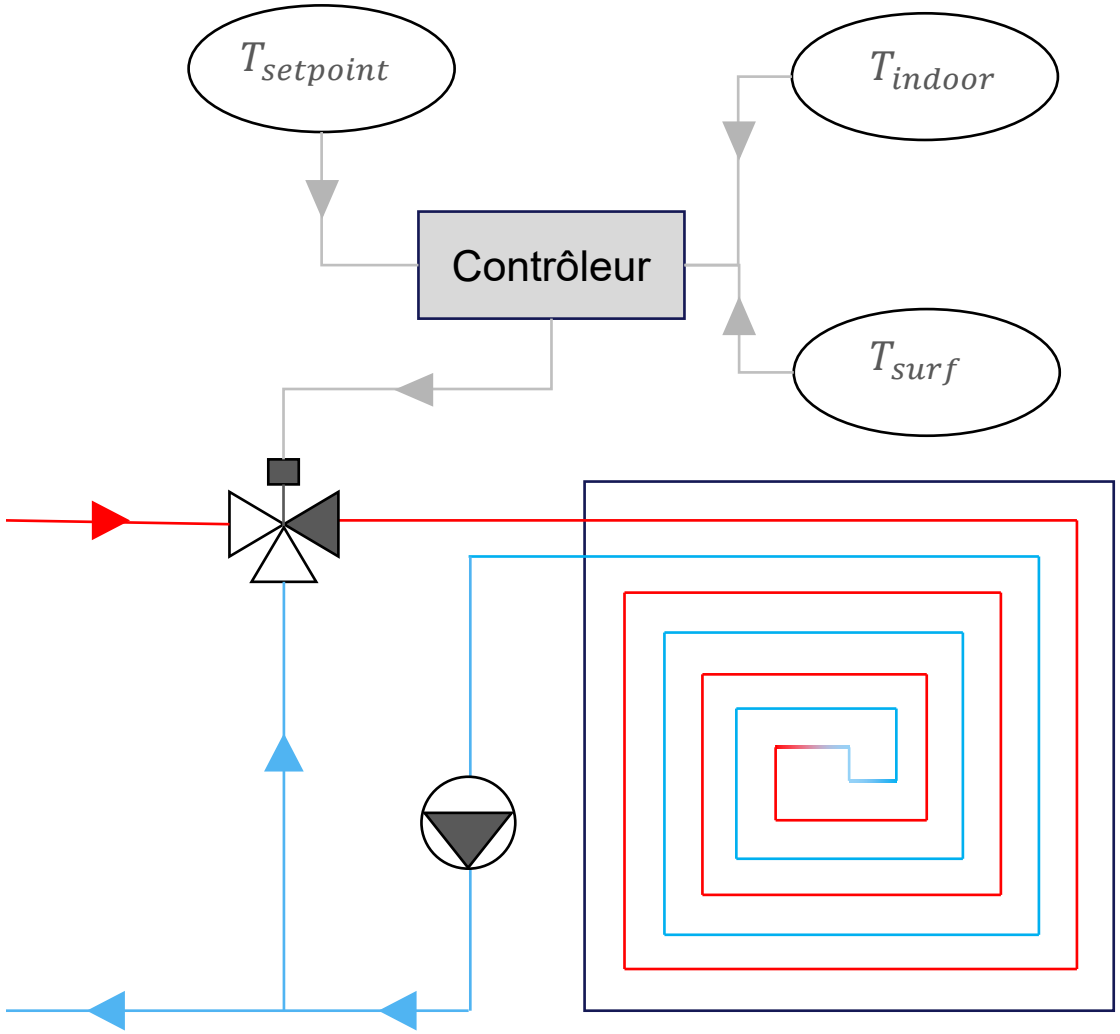
$$\dot{Q}_{rad} = h_{rad}\, A\, (T_{surf} - T_{op})$$

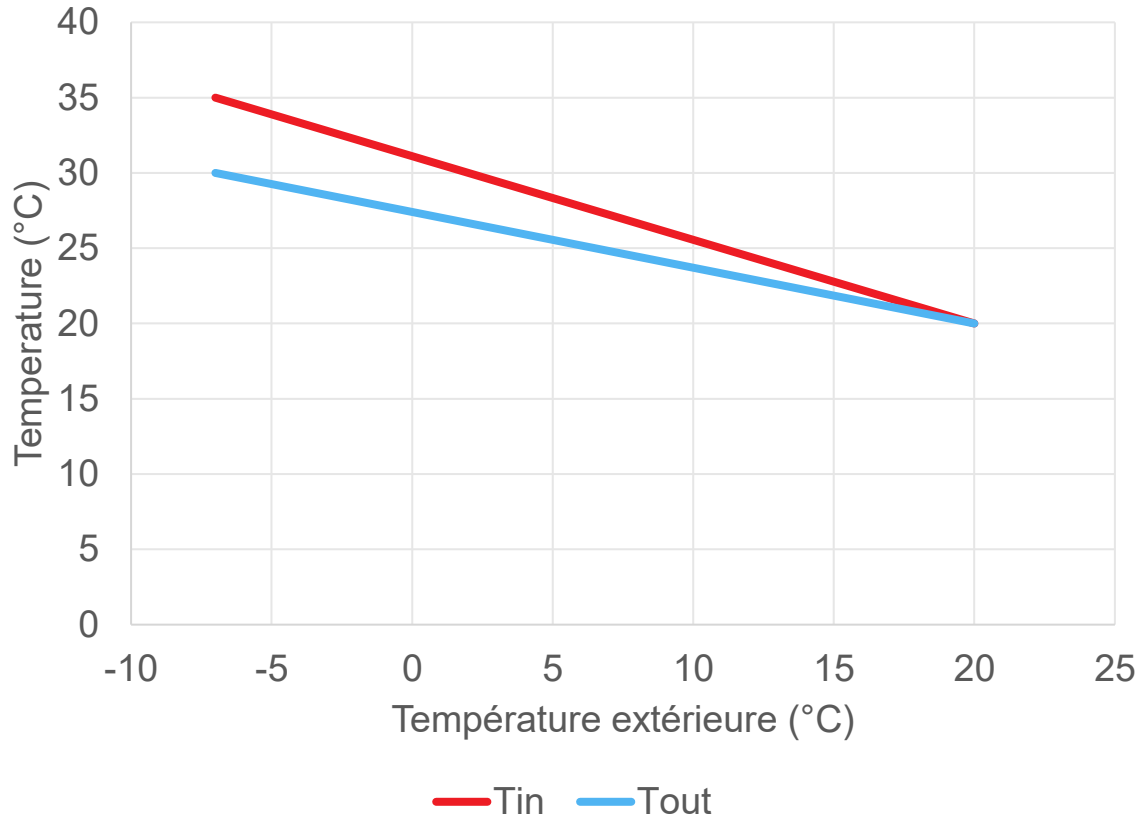
$$\dot{Q}_{conv} = h_{conv}\, A\, (T_{surf} - T_{air})$$



Limité à 28°C pour des raisons sanitaires

2.2 Plancher chauffant

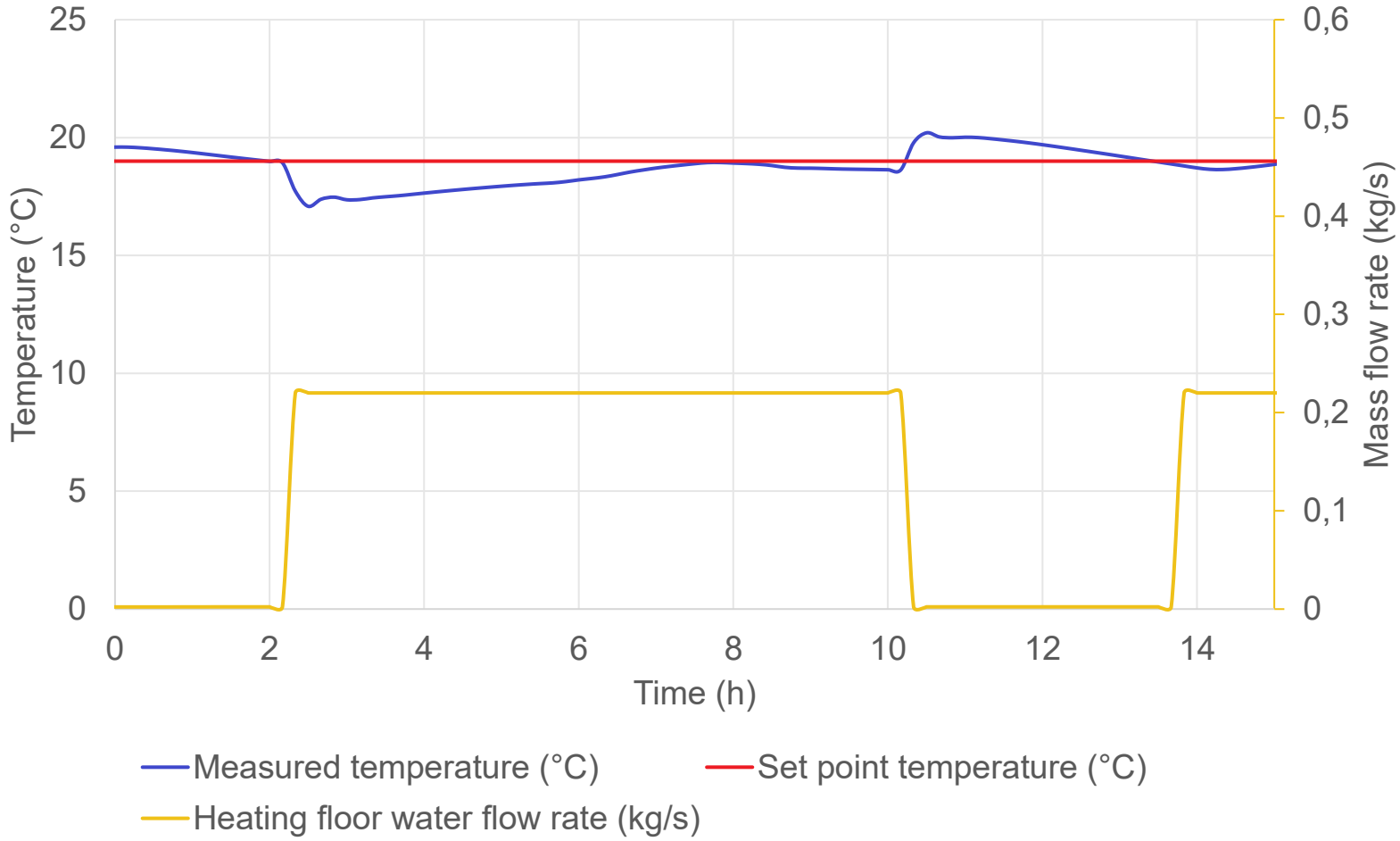




2.2 Plancher chauffant

Contrairement aux radiateurs, le chauffage au sol présente une certaine inertie due à la masse du sol (béton, etc.) et à la diffusion de la chaleur dans les tuyaux.

Lorsque la température de consigne est atteinte, le débit d'eau dans les tuyaux est interrompu, mais la température intérieure continue d'augmenter.



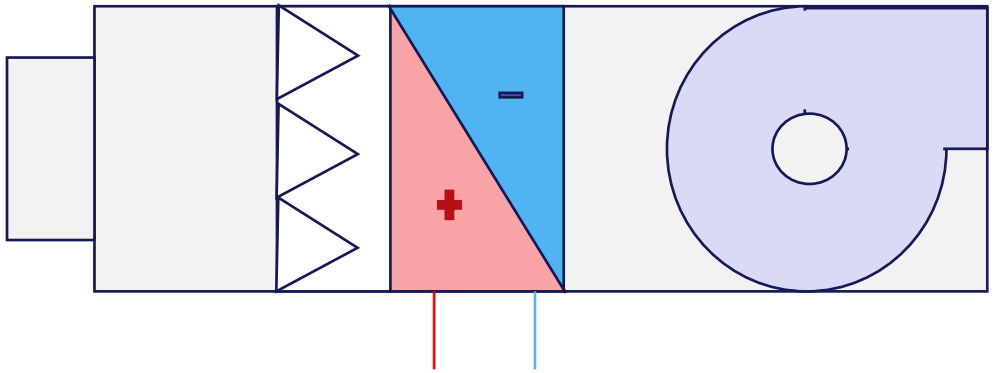
2.3 Ventilo-convecteur



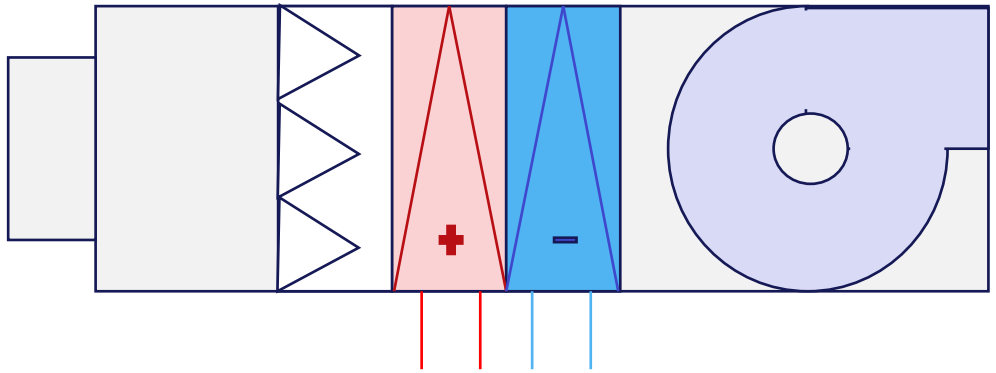


Un ventilo-convecteur peut être composé des éléments suivants :

- Un filtre
- Un ventilateur
- Un ou deux échangeurs de chaleur
- Une résistance électrique
- Un bac de récupération des condensats

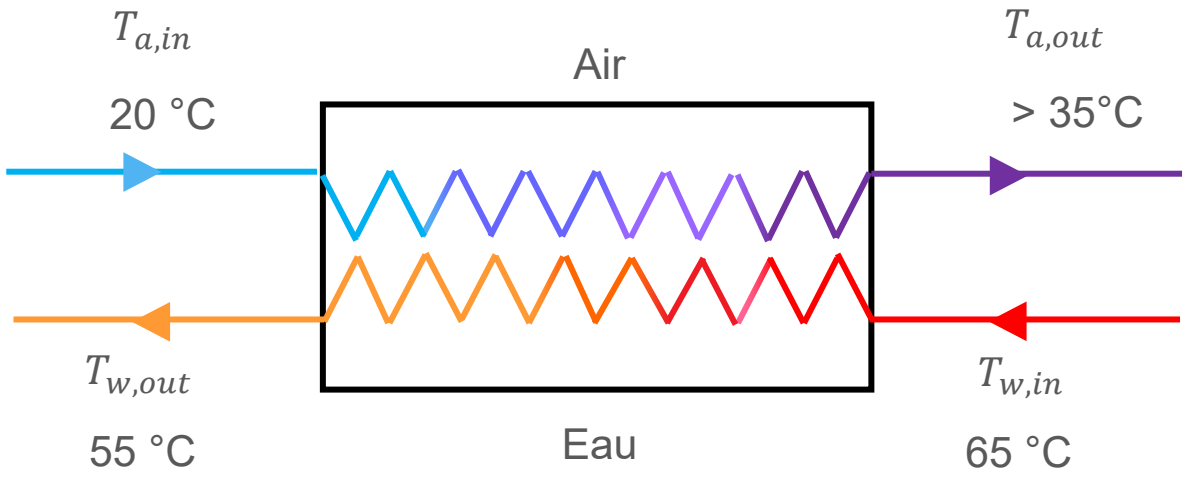


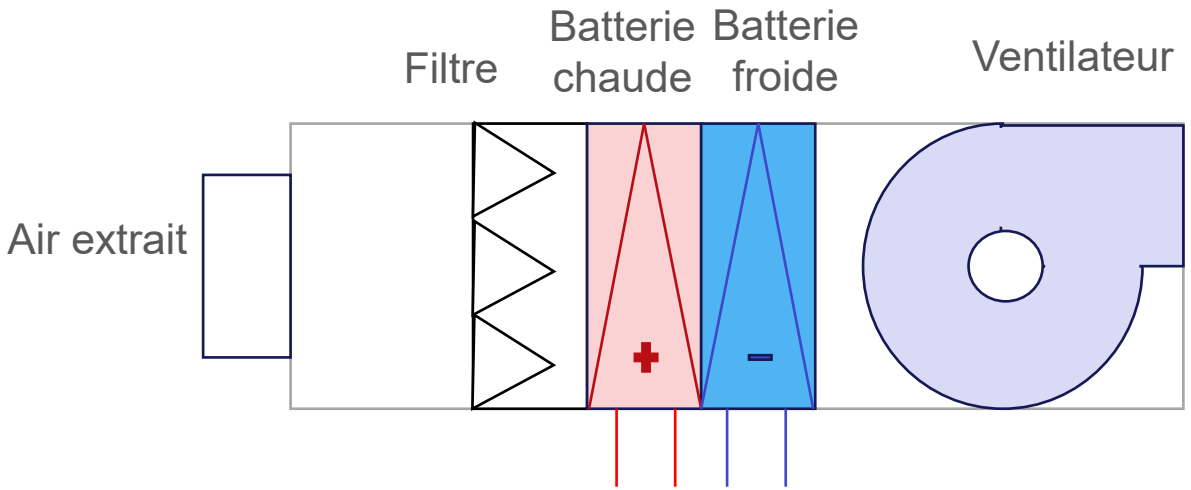
Ventilo-convecteur réversible à deux tubes



Ventilo-convecteur à 4 tubes

2.3 Ventilo-convecteur





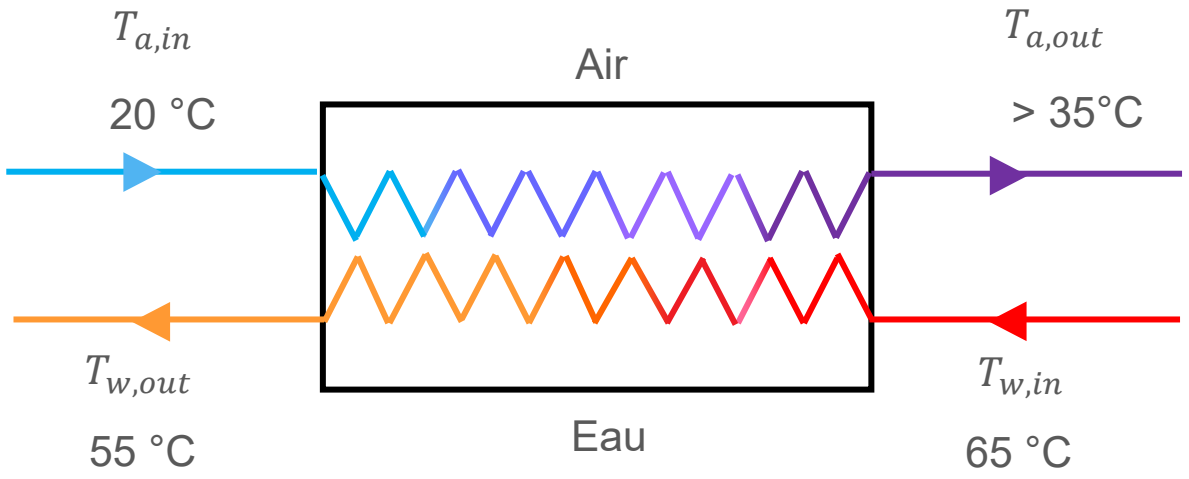
Par rapport au radiateur, l'échange thermique est plus efficace avec le ventilo-convecteur. En effet, ce dernier fonctionne par convection forcée, ce qui se traduit par un meilleur coefficient de convection thermique.

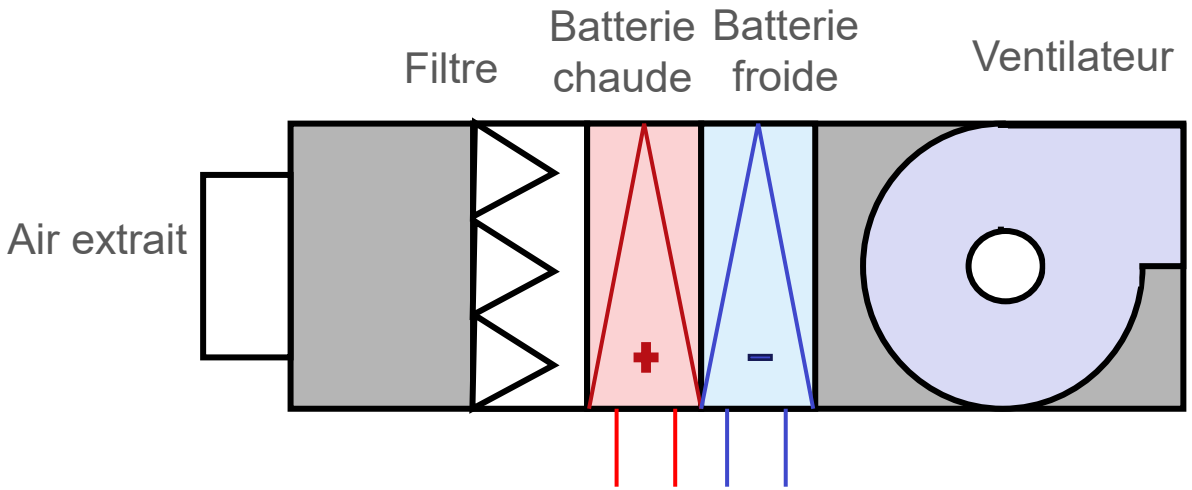
$$\dot{Q} = \dot{m}_a Cp_a \left(T_{a,out} - T_{a,in}\right)$$

$$\dot{Q} = \dot{m}_w Cp_w \left(T_{w,in} - T_{w,out}\right)$$

$$E = \frac{\dot{Q}}{\min(\dot{m}_a Cp_a;\ \dot{m}_w Cp_w)\left(T_{w,in} - T_{a,in}\right)}$$

2.3 Ventilo-convecteur





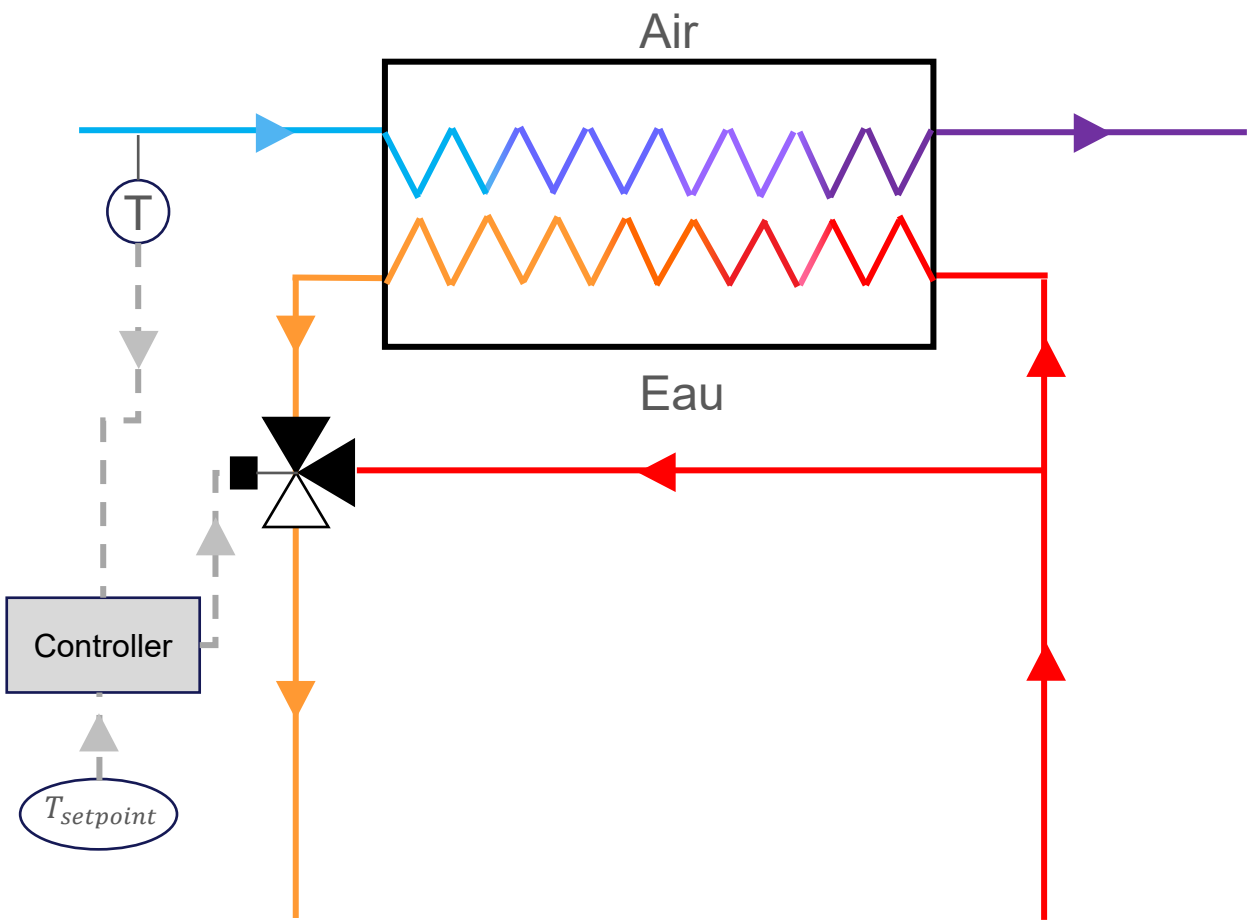
Étant donné qu'un seul HEX est utilisé pour le chauffage et le refroidissement, la plage de température en mode refroidissement est de 7 °C/12 °C. Ainsi, pour éviter une perte de performance due au surdimensionnement de la batterie chaude en mode chauffage, la plage de température doit être plus basse.

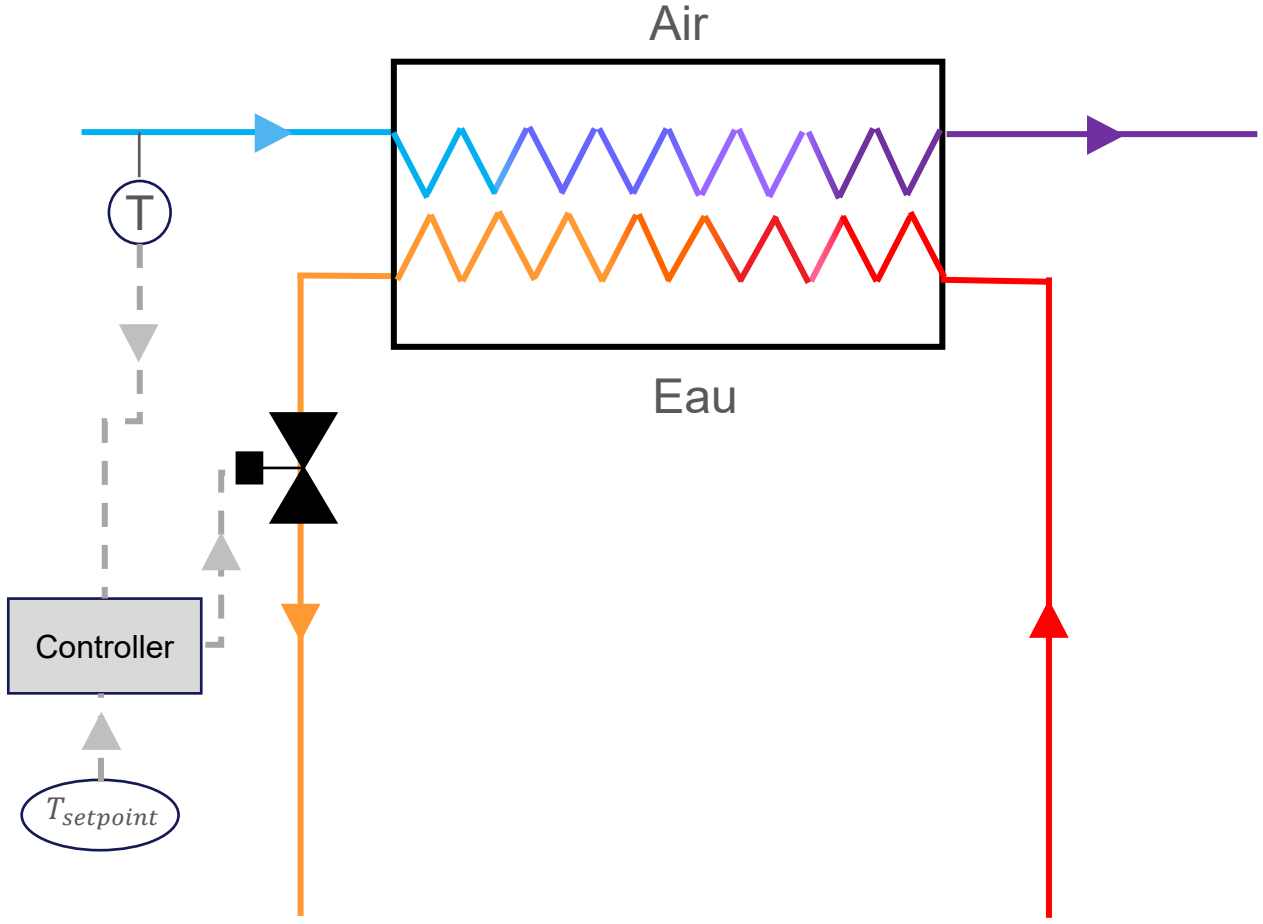
$$\dot{Q} = \dot{m}_a Cp_a \left(T_{a,out} - T_{a,in}\right)$$

$$\dot{Q} = \dot{m}_w Cp_w \left(T_{w,in} - T_{w,out}\right)$$

$$E = \frac{\dot{Q}}{\min(\dot{m}_a Cp_a;\ \dot{m}_w Cp_w)\left(T_{w,in} - T_{a,in}\right)}$$

2.3 Ventilo-convecteur





3. Emetteurs de froid

Quels sont les systèmes de distribution et les émetteurs généralement utilisés dans un réseau de chaleur/froid ?

Plafond rafraichissant



- \+ Confort
- \+ Réversible
- \- Prix
- \- Puissance limitée

Plancher rafraichissant



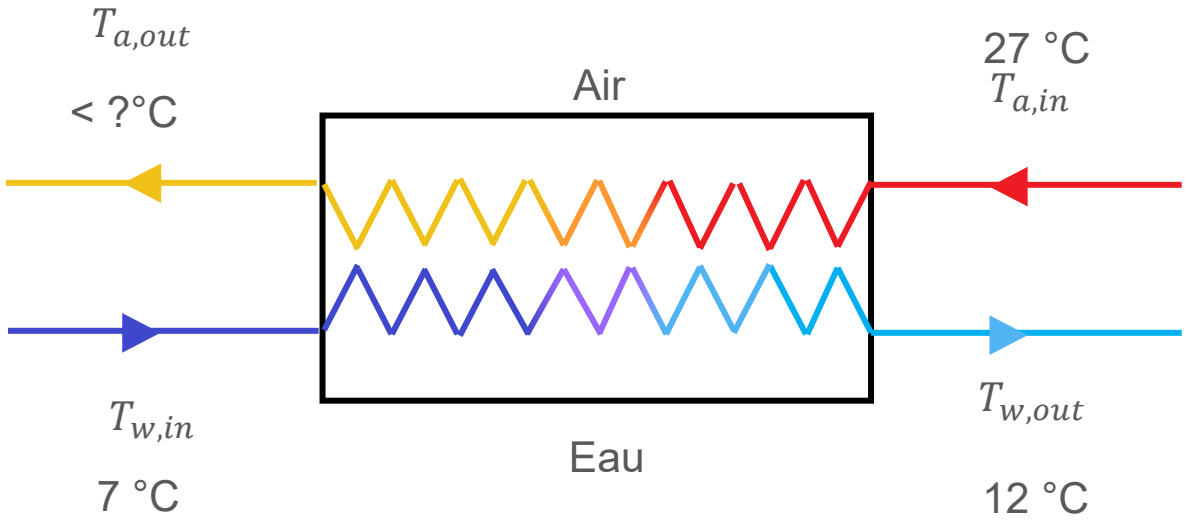
- \+ Confort
- \+ Réversible
- \- Prix
- \- Puissance limitée

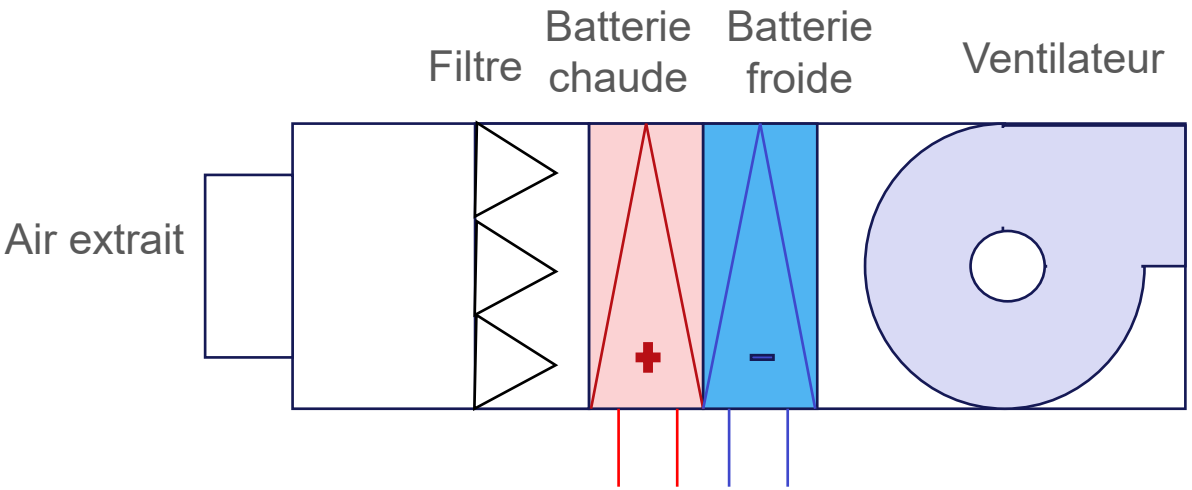
Ventilo-convecteur



- \+ Encombrement
- \+ Réversible
- \- Confort
- \- Bruit

3.1 Ventilo-convecteur





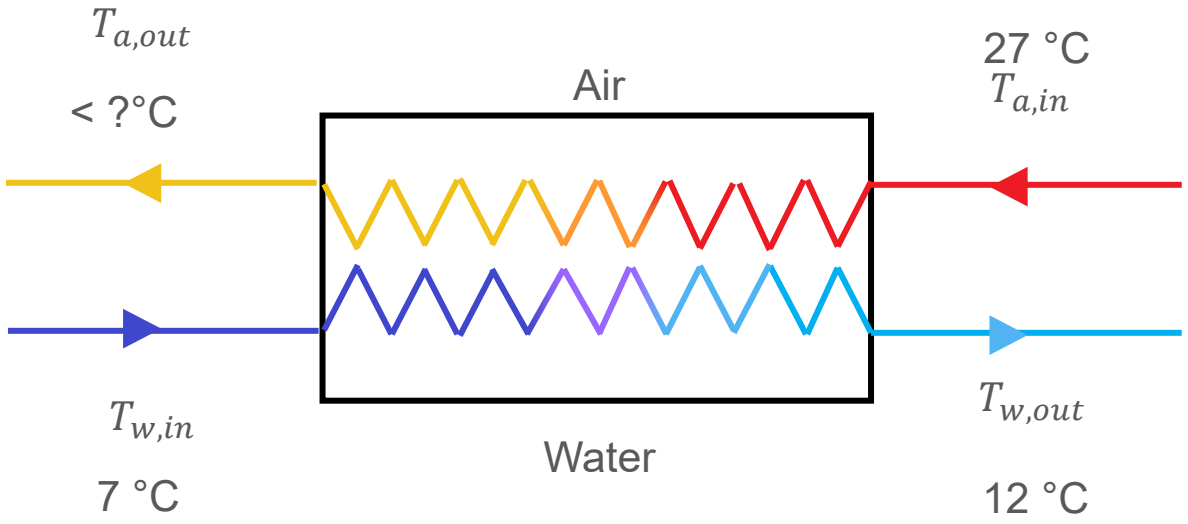
La batterie froide fonctionne de la même manière que la batterie chaude. Cependant, l'air intérieur est humide et, compte tenu de la température du point de rosée, une condensation est possible.

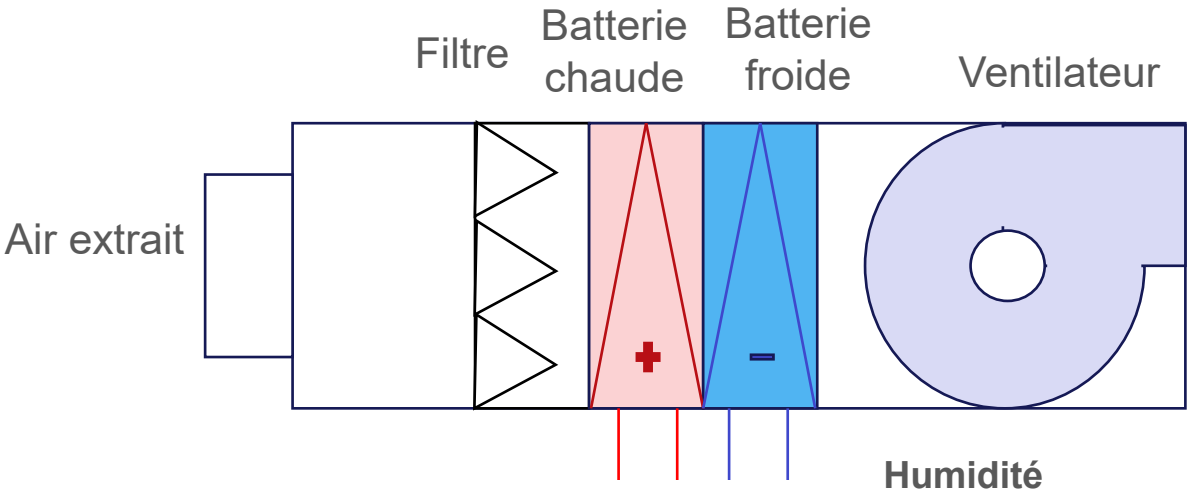
$$\dot{Q} = \dot{m}_a Cp_a \left(T_{a,out} - T_{a,in}\right)$$

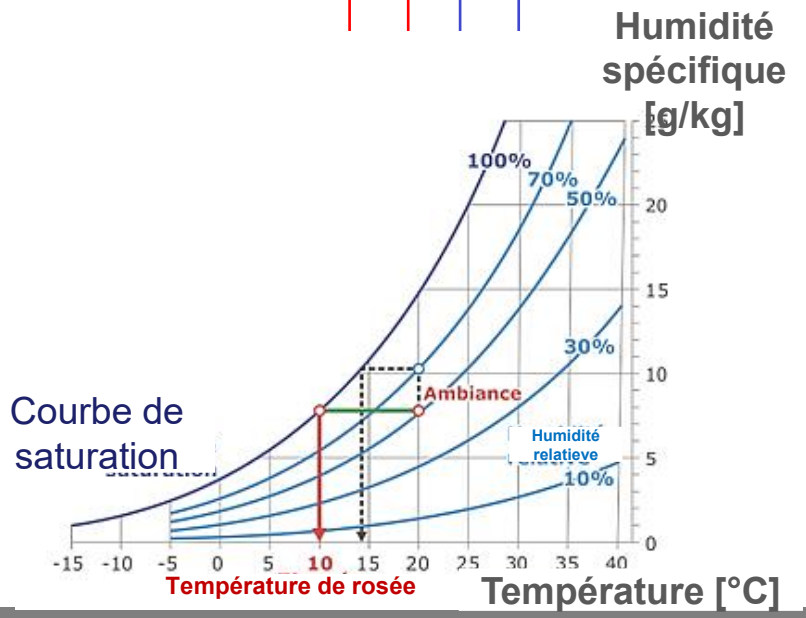
$$\dot{Q} = \dot{m}_w Cp_w \left(T_{w,in} - T_{w,out}\right)$$

$$E = \frac{\dot{Q}}{\min(\dot{m}_a Cp_a;\ \dot{m}_w Cp_w)\left(T_{w,in} - T_{a,in}\right)}$$

3.1 Ventilo-convecteur

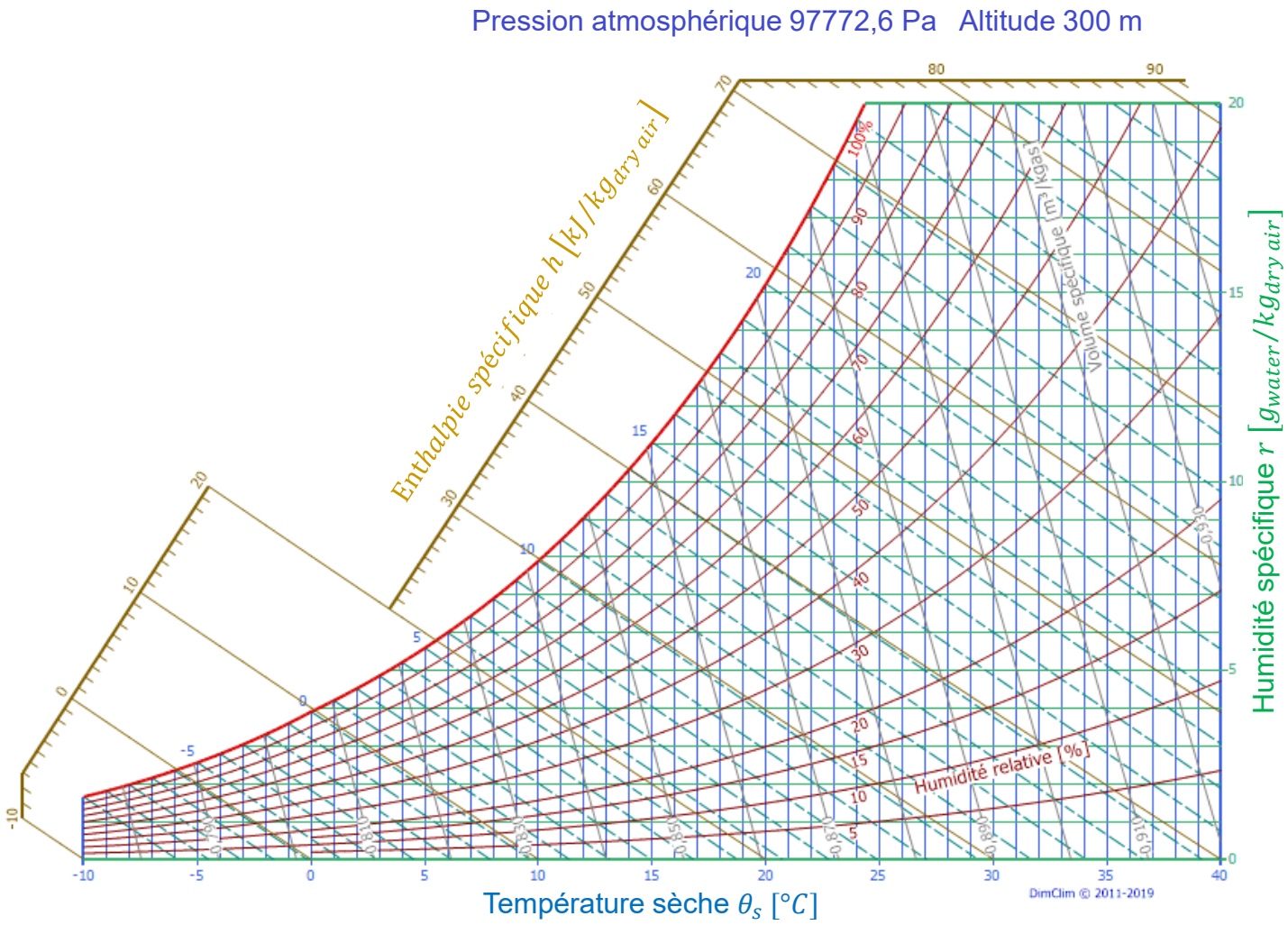






La batterie froide fonctionne de la même manière que la batterie chaude. Cependant, l'air intérieur est humide et, compte tenu de la température du point de rosée, une condensation est possible.

3.1 Ventilo-convecteur



Température sèche θ_s $[°C]$: Température mesurée avec un thermomètre simple

Humidité spécifique r $\left[kg_{water}/kg_{dry\ air}\right]$

$$r = \frac{m_{water}}{m_{dry\ air}} = 0{,}622\,\frac{p_v}{p - p_v}$$

Enthalpie spécifique h $\left[kJ/kg_{dry\ air}\right]$

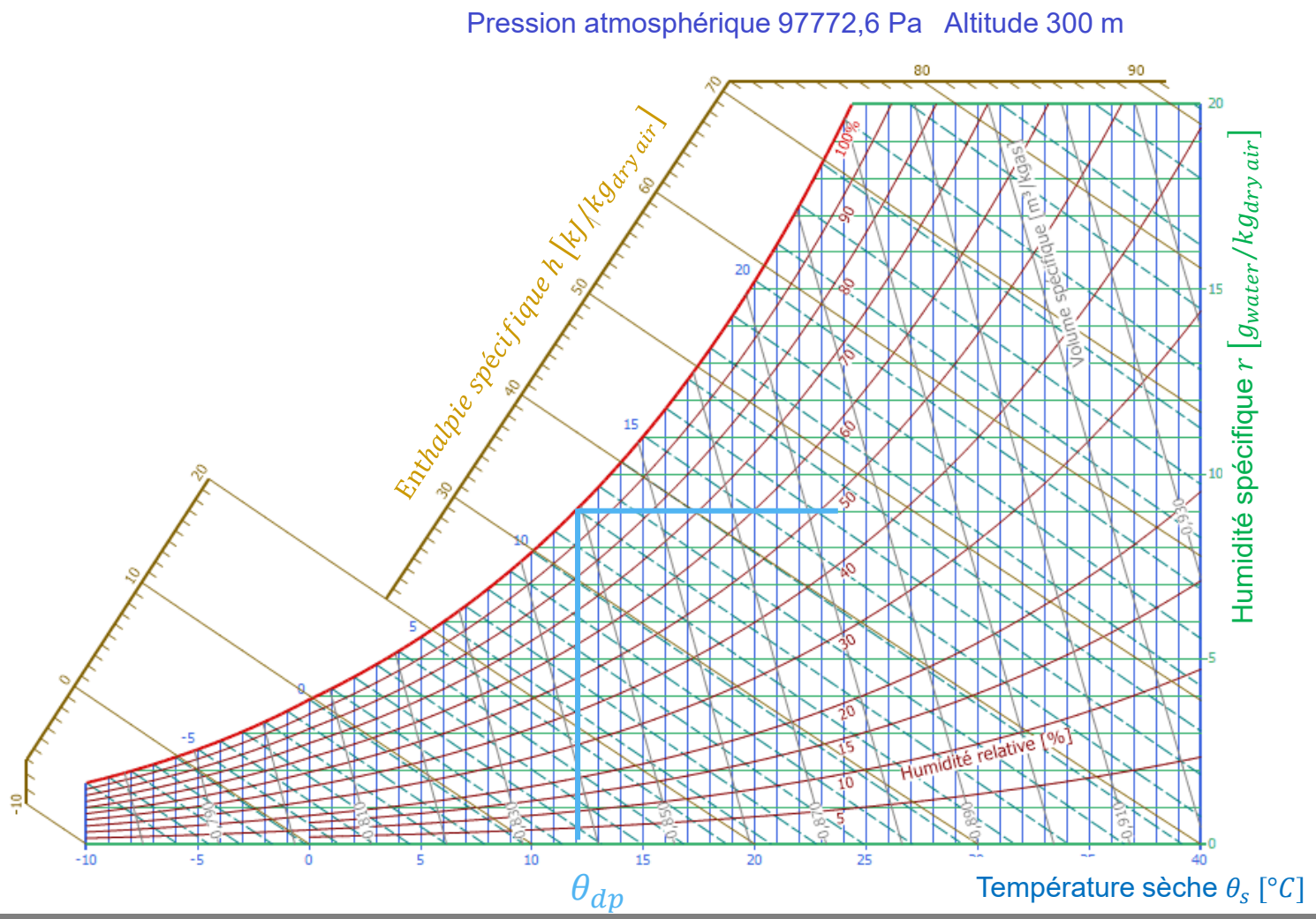
$$h = h_{dry\ air} + r\ h_{vapour}$$

$$h = Cp_{dry\ air}\ \theta_s + r\left(L_v + Cp_{vapour}\ \theta_s\right)$$

Humidité relative φ [%] :

$$\varphi = p_{v,\theta}/p_{vs,\theta}$$

3.1 Ventilo-convecteur

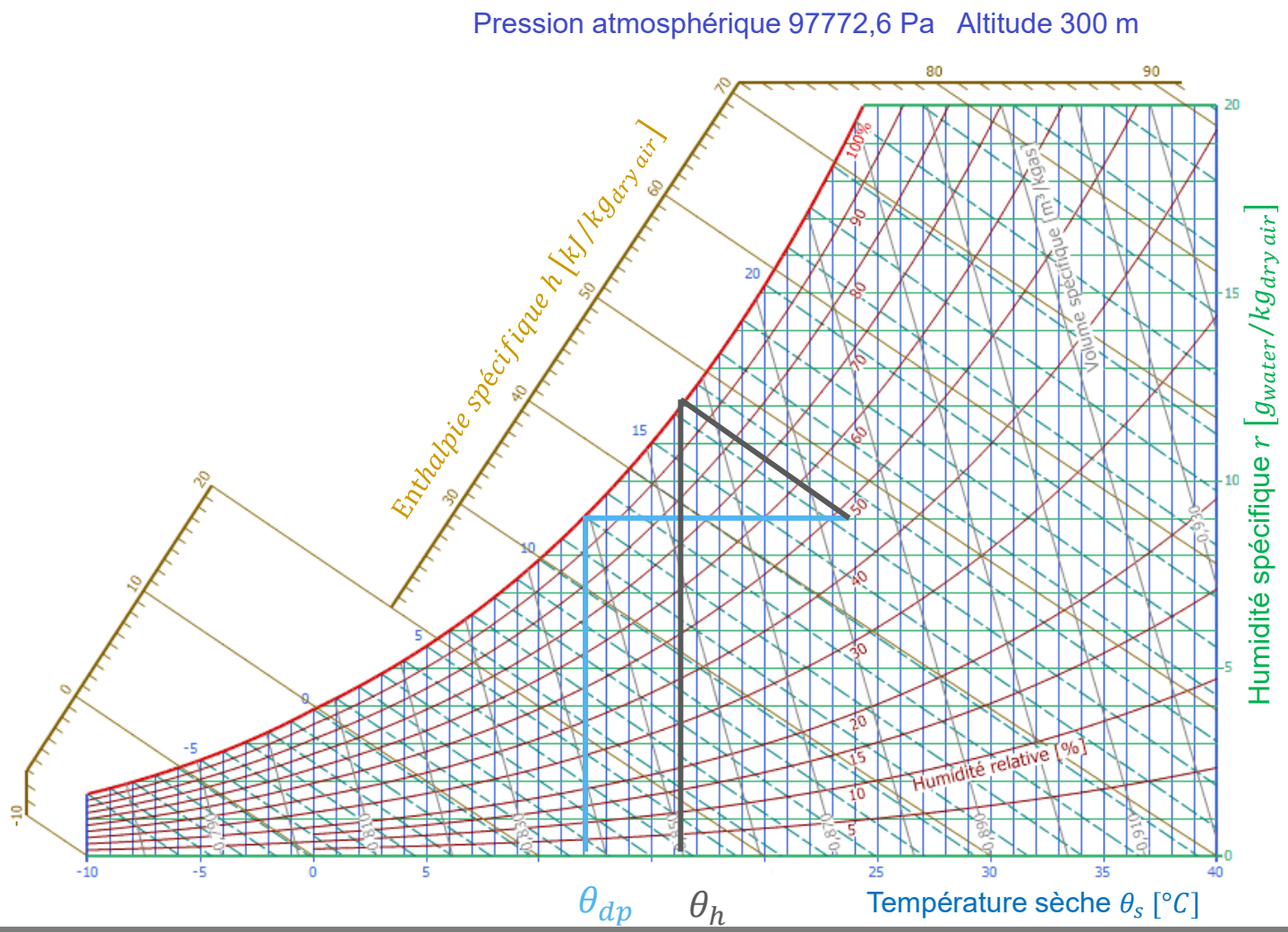


Volume spécifique $v\ [m^3/kg_{dry\ air}]$

Température de rosée $\theta_{dp}\ [°C]$: Il s'agit de la température à laquelle l'air humide devrait être refroidi pour que la vapeur d'eau commence à se condenser

Température humide $\theta_h\ [°C]$: Il s'agit de la température mesurée par un thermomètre dont le bulbe est recouvert d'un coton humide et placé dans un courant d'air (2 m/s)

3.1 Ventilo-convecteur

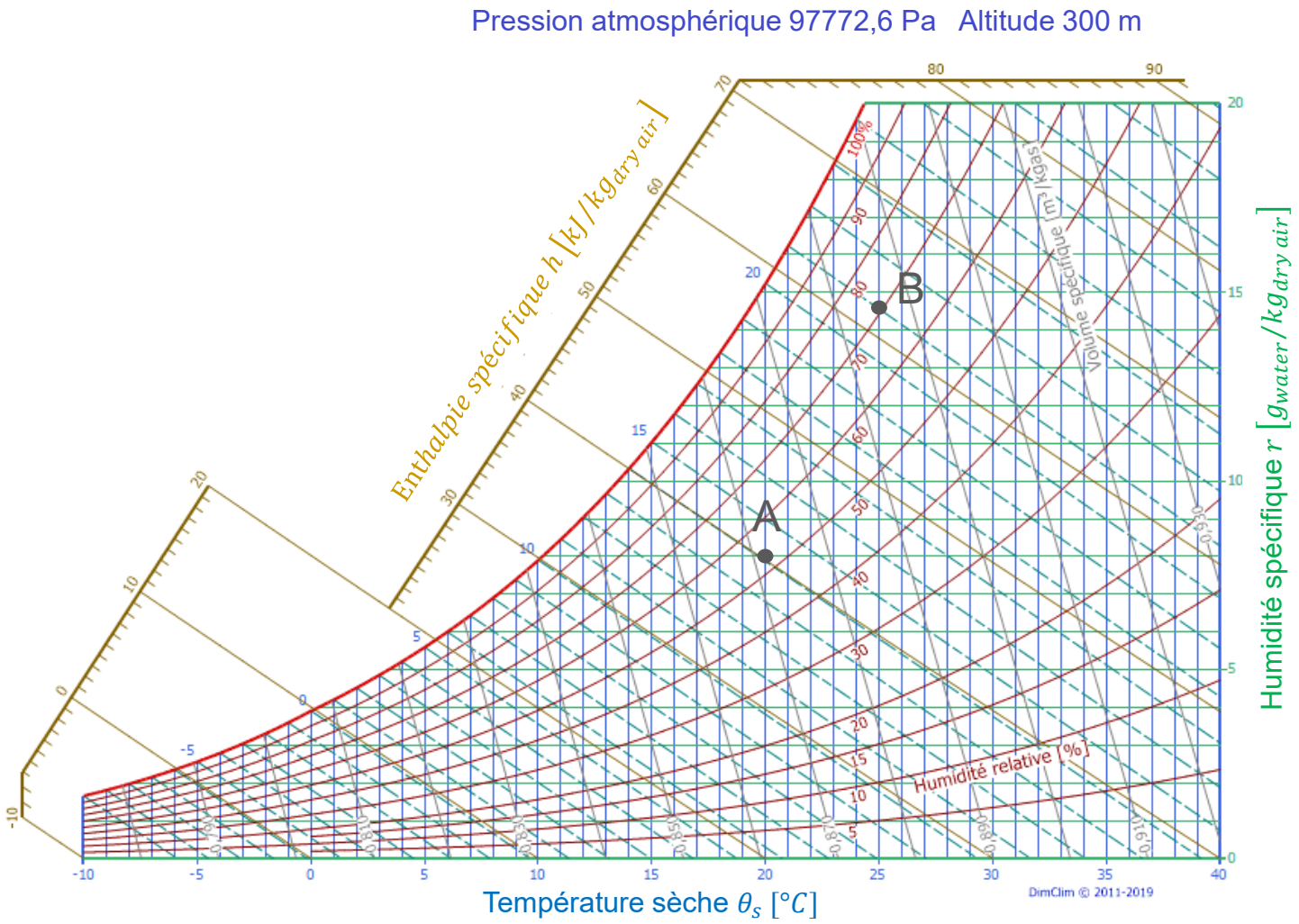


Volume spécifique $v\ [m^3/kg_{dry\ air}]$

Température de rosée $\theta_{dp}\ [°C]$: Il s'agit de la température à laquelle l'air humide devrait être refroidi pour que la vapeur d'eau commence à se condenser

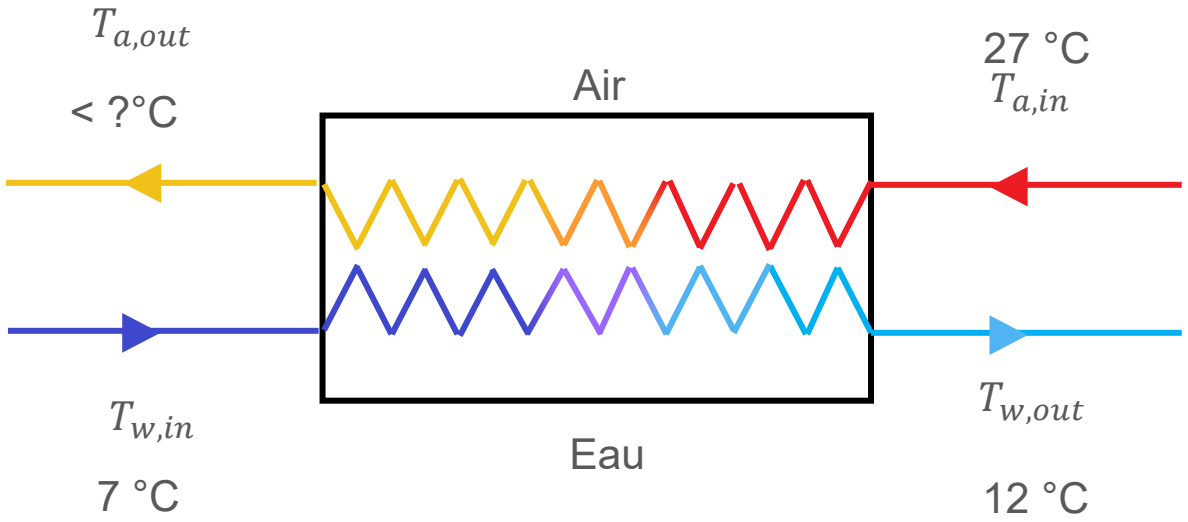
Température humide $\theta_h\ [°C]$: Il s'agit de la température mesurée par un thermomètre dont le bulbe est recouvert d'un coton humide et placé dans un courant d'air (2 m/s)

3.1 Ventilo-convecteur



	A	B
$\theta_s\ [°C]$	20	24
$\theta_{dp}\ [°C]$	10	18,5
$\theta_h\ [°C]$	14	20
$r\ [kg_w/kg_{da}]$	0,008	0,0145
$h\ [kJ/kg_{da}]$	40	58
$\varphi\ [\%]$	52	70
$v\ [m^3/kg_{dry\ air}]$	0,871	0,891

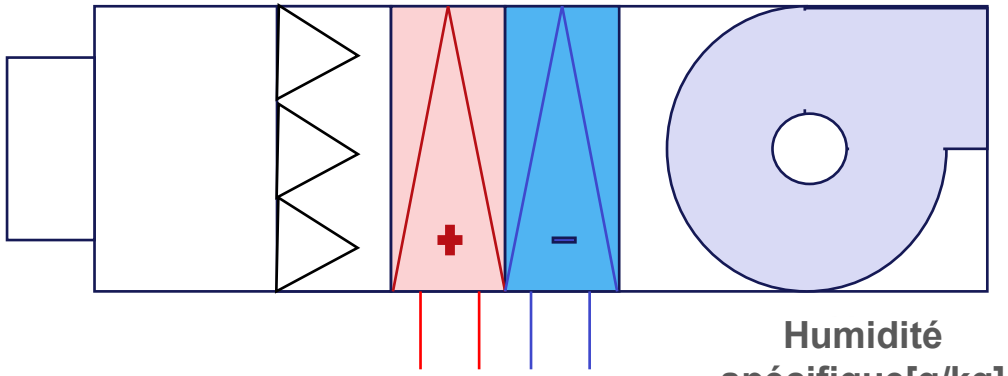
3.1 Ventilo-convecteur

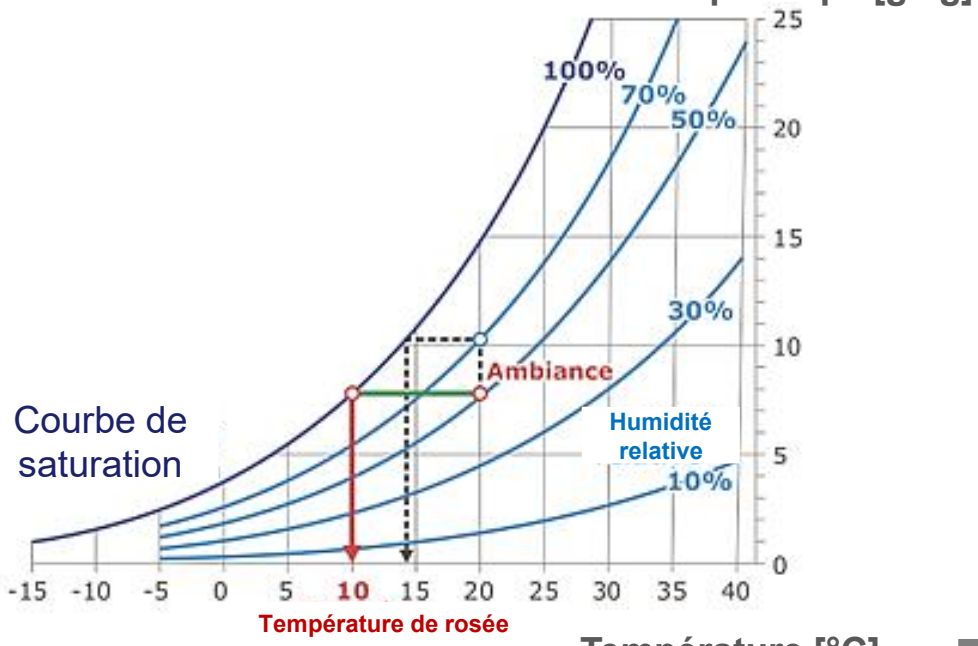


$$\dot{Q} = \dot{Q}_s + \dot{Q}_l$$

$$\dot{Q} = \dot{m}_{air}\, Cp_{air} \left(T_{a,in} - T_{a,out}\right) + \dot{m}_{cond}\, L_v$$

$$\dot{m}_{cond} = \dot{m}_{air} \left(r_{a,in} - r_{a,out}\right)$$





3.2 Plancher rafraichissant

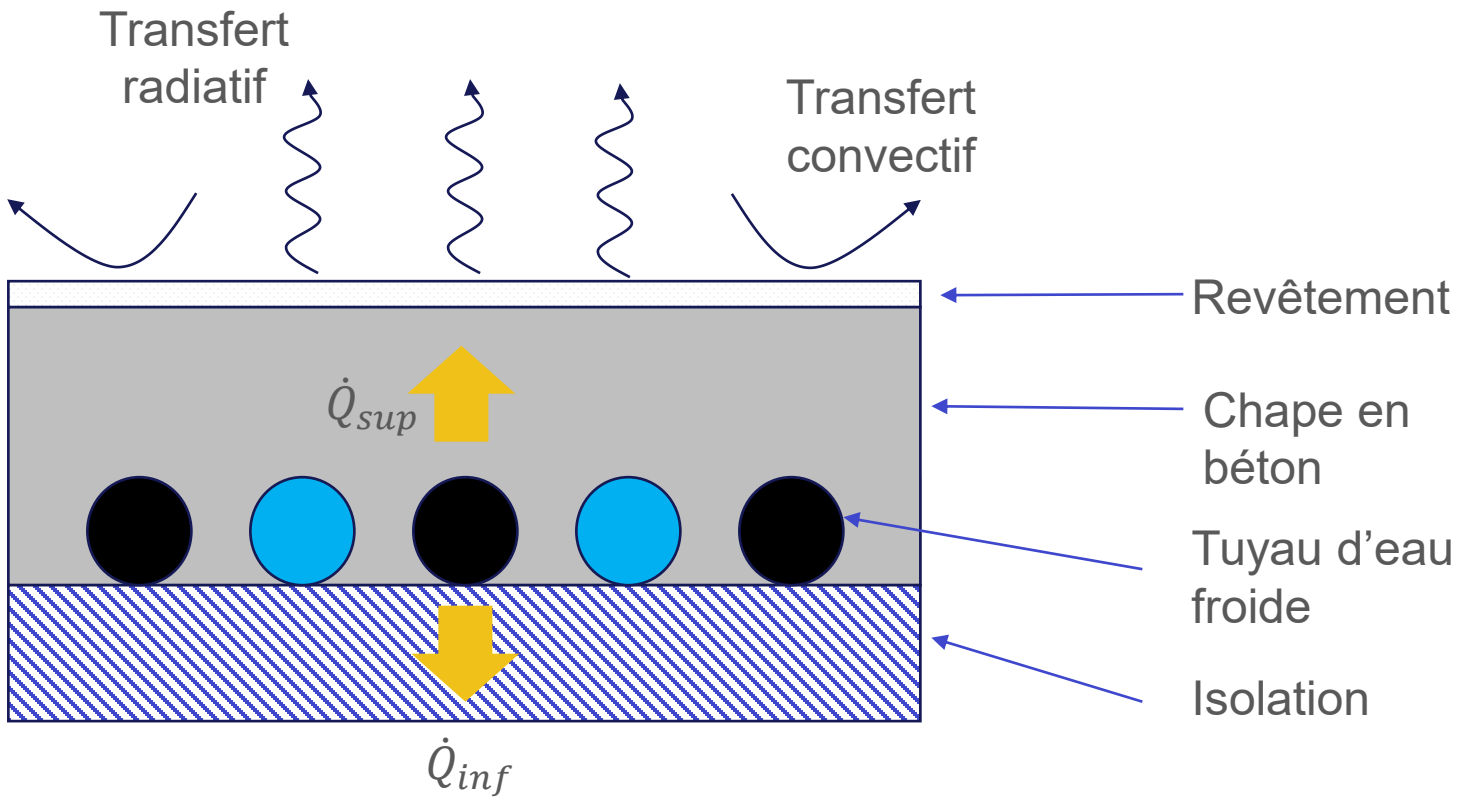
$\approx 70\%$ $\approx 30\%$

$$\dot{Q}_{sup} = P_{hf} = P_{rad} + P_{conv}$$

$$\dot{Q}_{rad} = h_{rad}\, A\, (T_{surf} - T_{op})$$

$$\dot{Q}_{conv} = h_{conv}\, A\, (T_{surf} - T_{air})$$

Limité à 18°C pour éviter la condensation (en climat tempéré loin de la mer)



3.3 Plafond rafraichissant

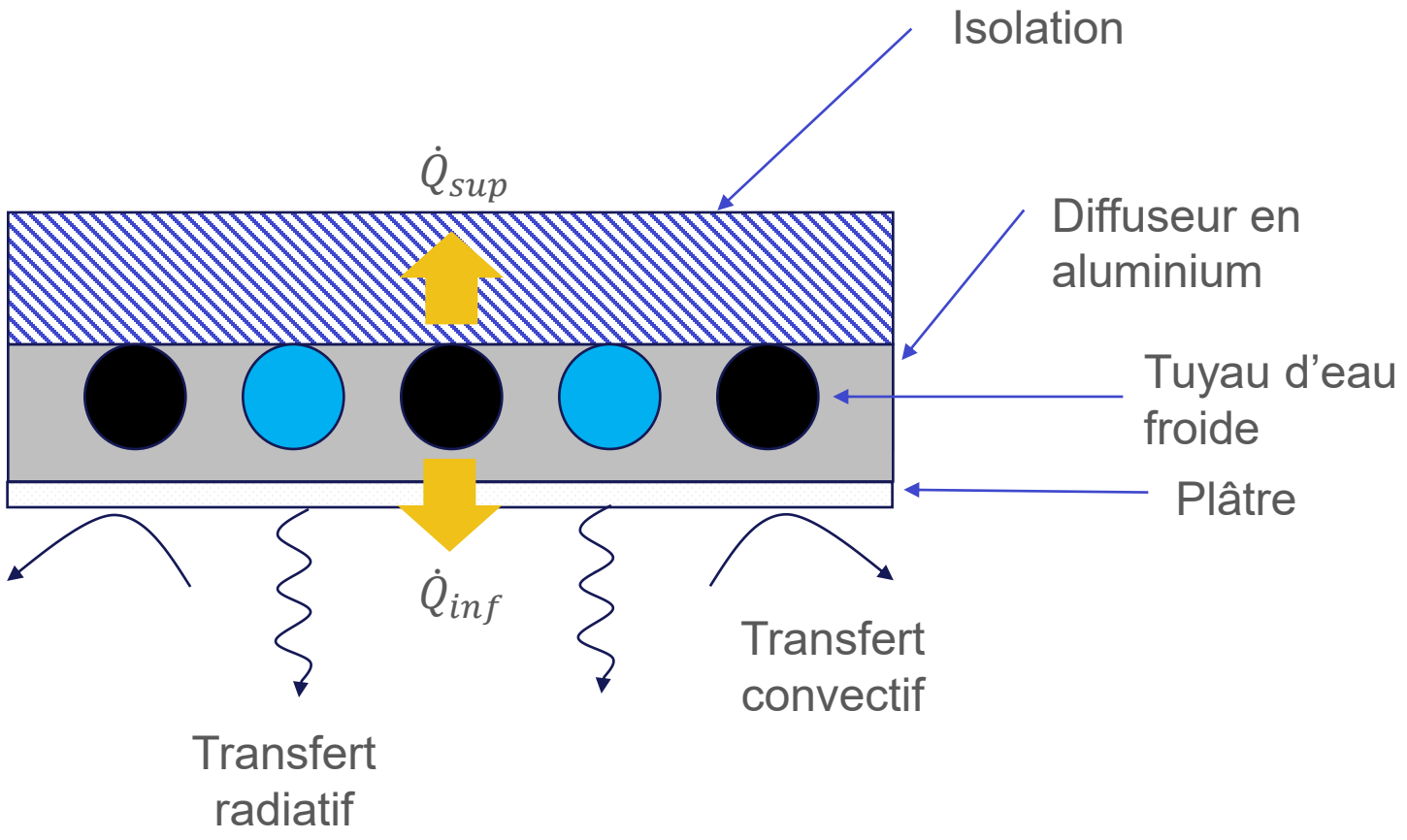
$\approx 70\%$ $\approx 30\%$

$$\dot{Q}_{inf} = \dot{Q}_{cc} = \dot{Q}_{rad} + \dot{Q}_{conv}$$

$$\dot{Q}_{rad} = h_{rad}\, A\, (T_{surf} - T_{op})$$

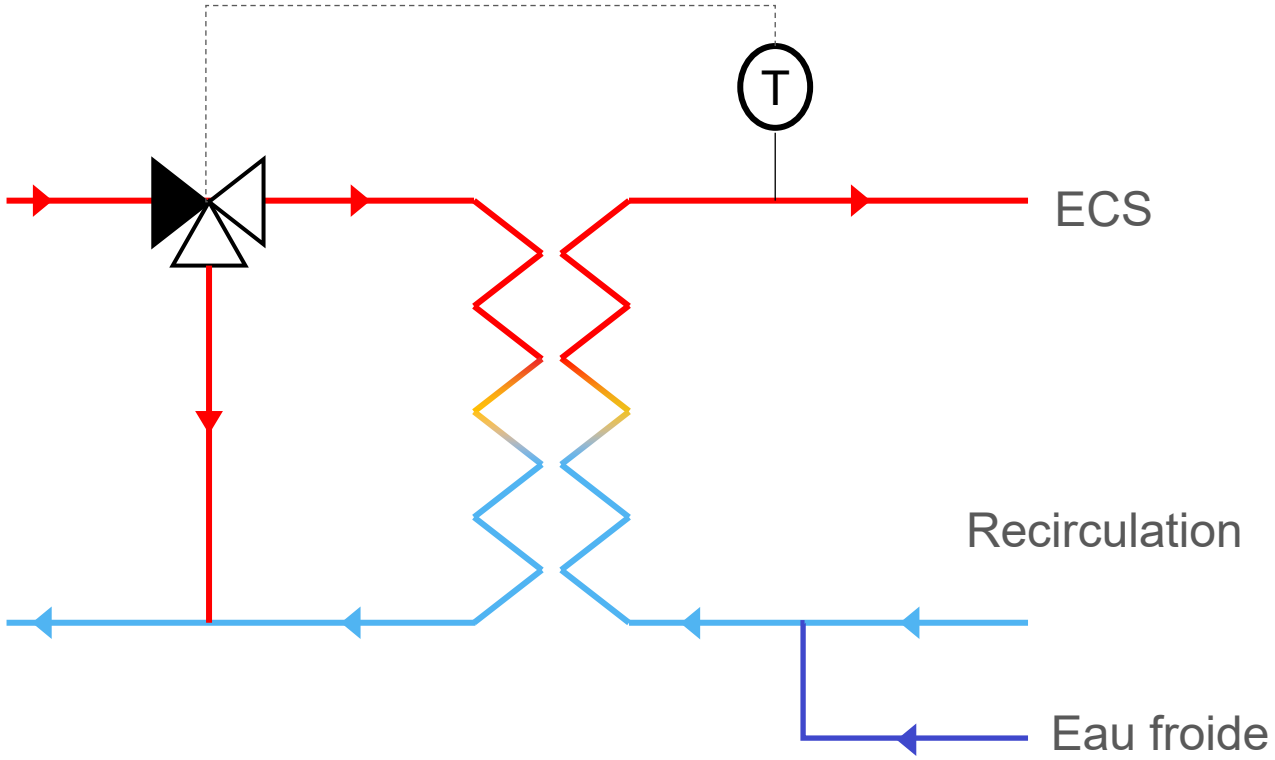
$$\dot{Q}_{conv} = h_{conv}\, A\, (T_{surf} - T_{air})$$

Limité à 18°C pour éviter la condensation (en climat tempéré loin de la mer)



4. Eau chaude sanitaire

Comment alimenter le réseau en ECS via un réseau de chaleur ?

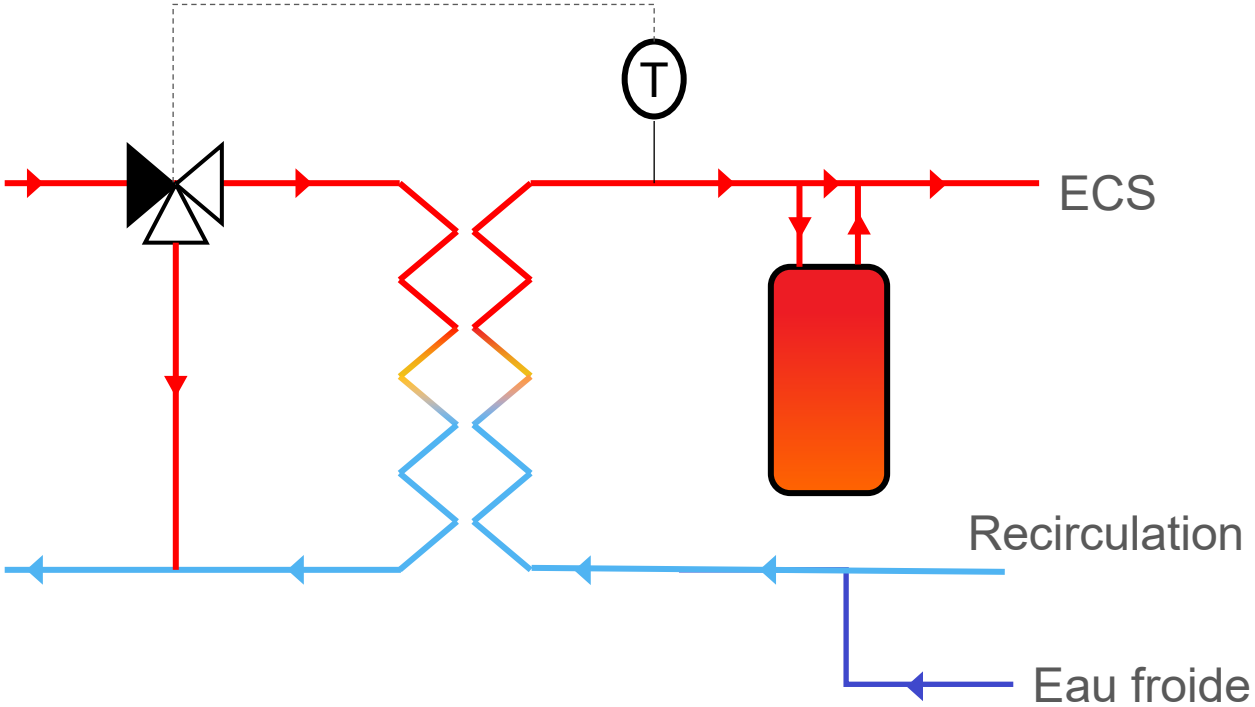


Fourniture instantanée:

- Facile à installer
- Pas de ballon→ Economique
- Dimensionné pour fournir la puissance maximale→ Surdimensionné
- Température de distribution de 60 °C
- Débit constant des deux côtés grâce à la boucle de recirculation (55 °C)

4. Eau chaude sanitaire

Comment alimenter le réseau en ECS via un réseau de chaleur ?

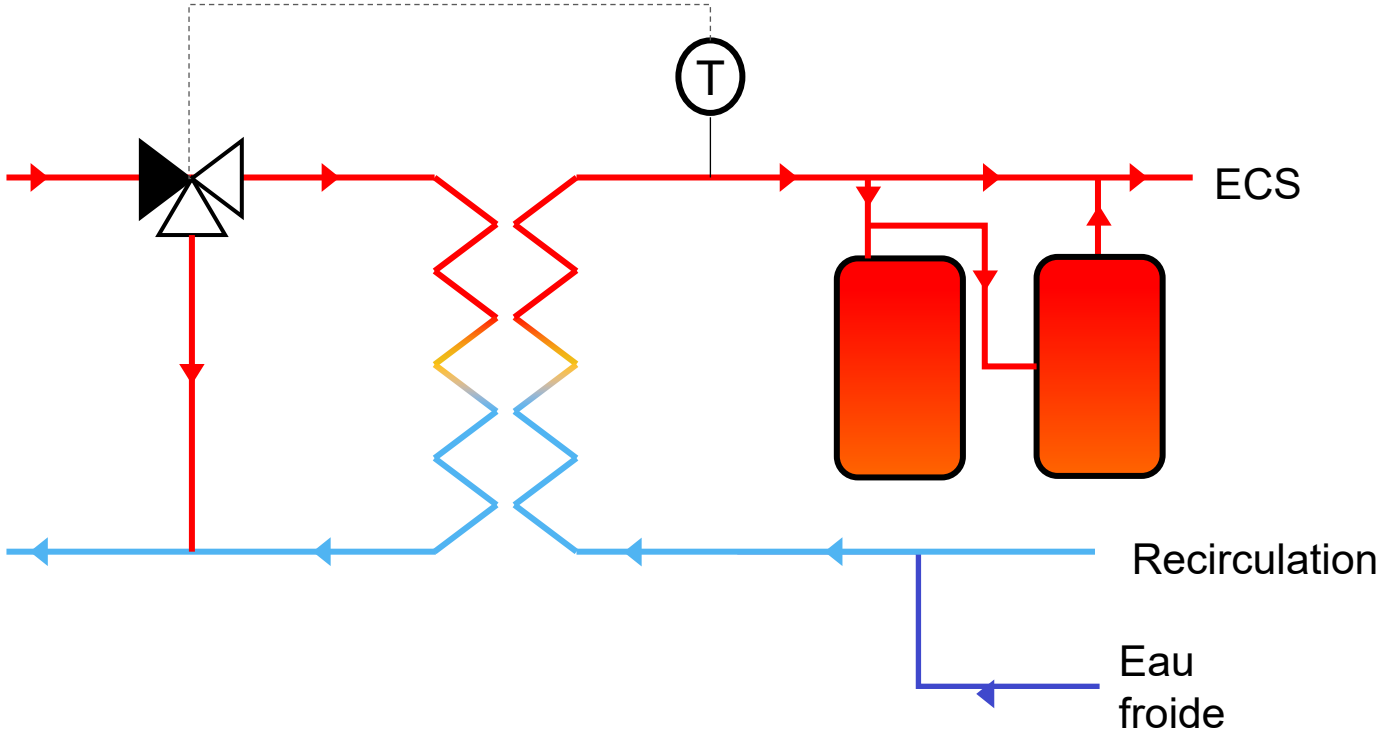


Fourniture semi-instantanée:

- Facile à installer
- Petit ballon dimensionné pour couvrir la pointe de consommation (10 min)
- Température de distribution de 60 °C
- Pertes thermiques à travers les parois du ballon
- Débit constant des deux côtés grâce à la boucle de recirculation (55 °C)

4. Eau chaude sanitaire

Comment alimenter le réseau en ECS via un réseau de chaleur ?

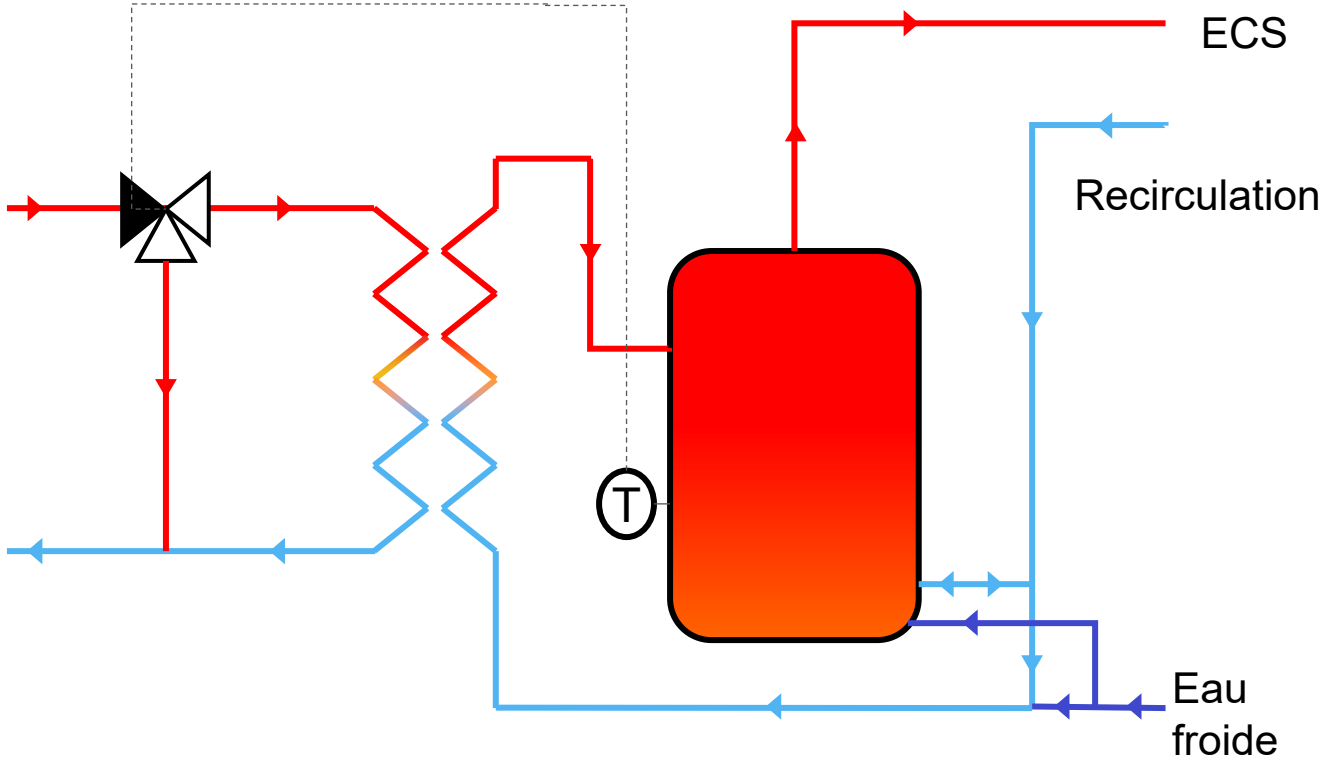


Fourniture semi-accumulation :

- Besoin d'espace
- Ballons dimensionnés pour couvrir la consommation durant 2-3 heures
- Risque de corrosion
- Température de distribution de 60 °C
- Pertes thermiques à travers les parois du ballon
- Débit constant des deux côtés grâce à la boucle de recirculation (55 °C)

4. Eau chaude sanitaire

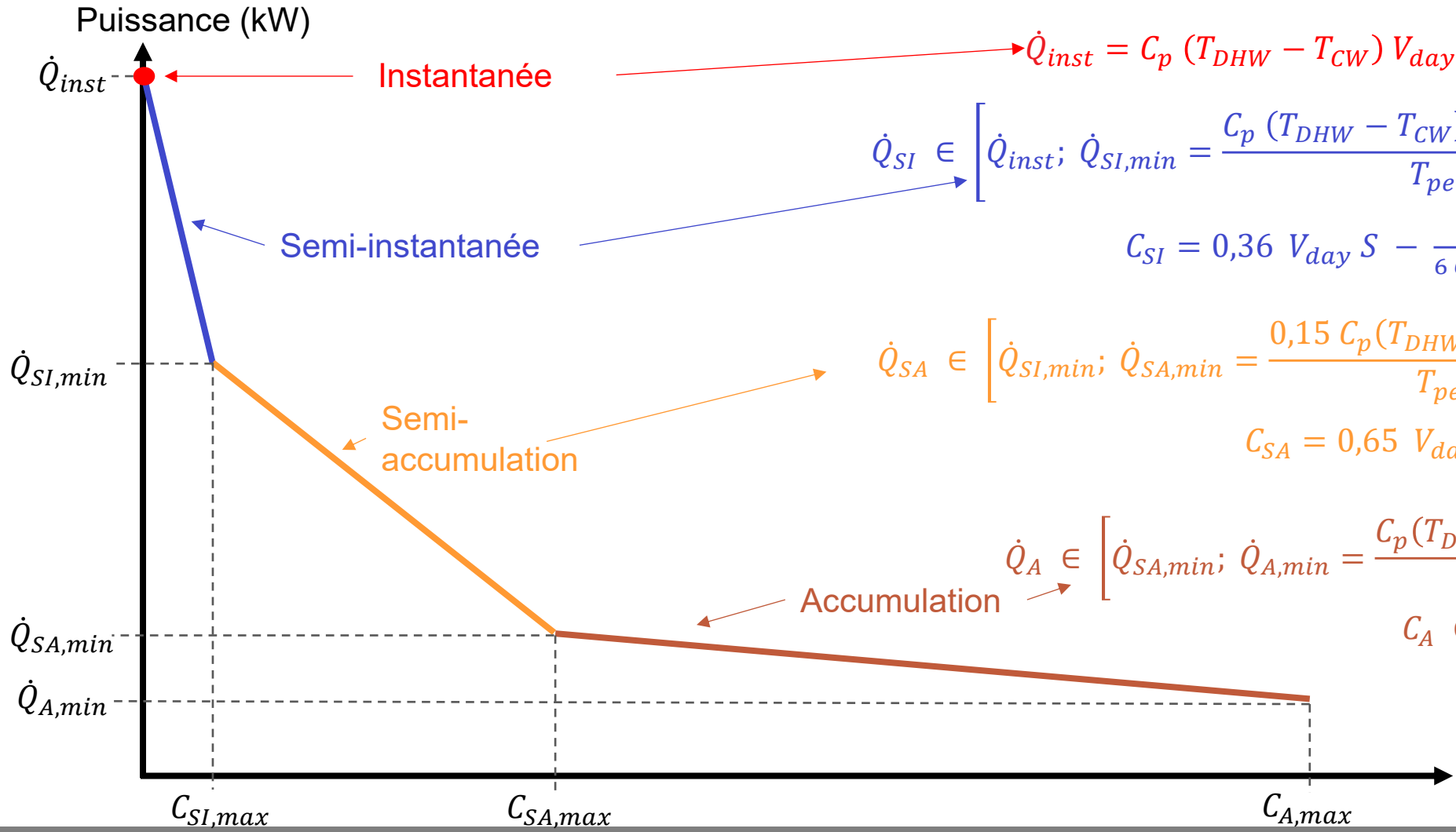
Comment alimenter le réseau en ECS via un réseau de chaleur ?



Fourniture accumulation :

- Grand besoin d'espace
- Ballon dimensionné pour couvrir la consommation journalière
- Risque de corrosion
- Température de distribution de 60 °C
- Pertes thermiques à travers les parois du ballon

4. Eau chaude sanitaire



$$\dot{Q}_{inst} = C_p\,(T_{DHW} - T_{CW})\,V_{day} \times 0{,}36 \times 6 \times S$$

$$\dot{Q}_{SI} \in \left[\dot{Q}_{inst};\ \dot{Q}_{SI,min} = \frac{C_p\,(T_{DHW} - T_{CW})\,V_{day}\,(0{,}65 - (0{,}36\,S))}{T_{peak} - 0{,}166}\right]$$

$$C_{SI} = 0{,}36\ V_{day}\,S\ - \frac{\dot{Q}_{SI}}{6\,C_p\,(T_{DHW} - T_{CW})}$$

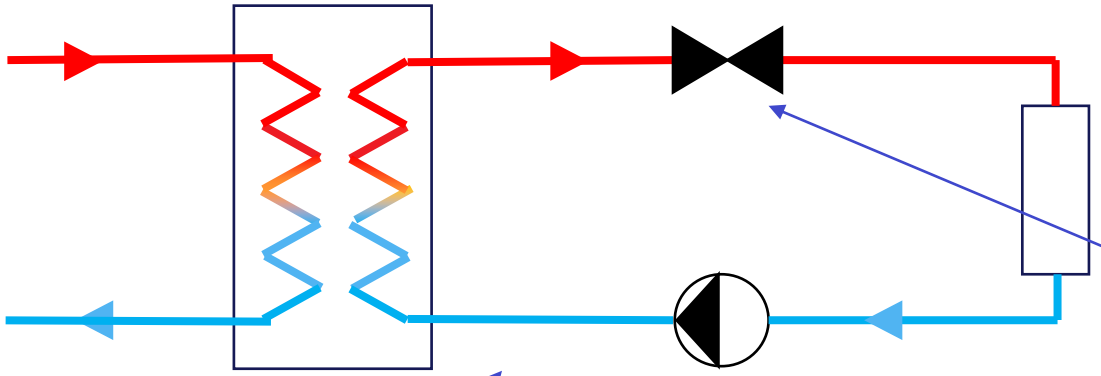
$$\dot{Q}_{SA} \in \left[\dot{Q}_{SI,min};\ \dot{Q}_{SA,min} = \frac{0{,}15\,C_p(T_{DHW} - T_{CW})V_{day}}{T_{peak}} + recircu\right]$$

$$C_{SA} = 0{,}65\ V_{day}\ - \frac{\dot{Q}_{SA}\ T_{peak}}{C_p\,(T_{DHW} - T_{CW})}$$

$$\dot{Q}_A \in \left[\dot{Q}_{SA,min};\ \dot{Q}_{A,min} = \frac{C_p(T_{DHW} - T_{CW})V_{day}}{24} + recircu\right]$$

$$C_A \in [0{,}5\,V_{day}\,;V_{day}]$$

5. Distribution



Comment concevoir le côté distribution, également appelé côté secondaire ?

Tuyaux



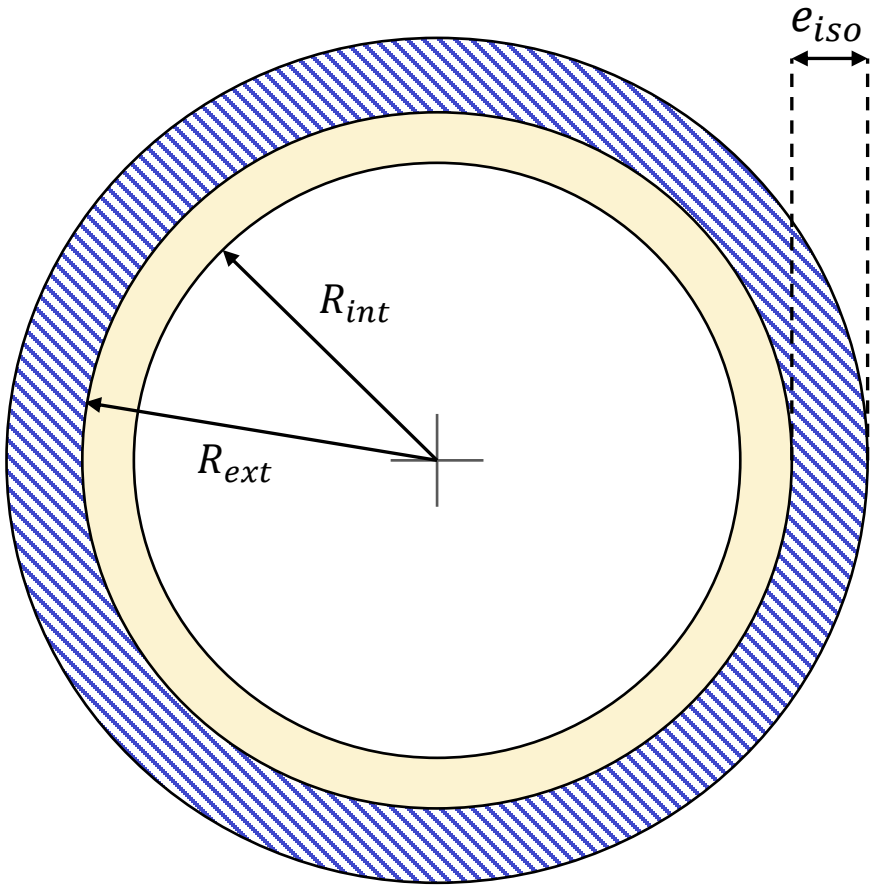
Pompe



Vannes



5.1 Tuyaux

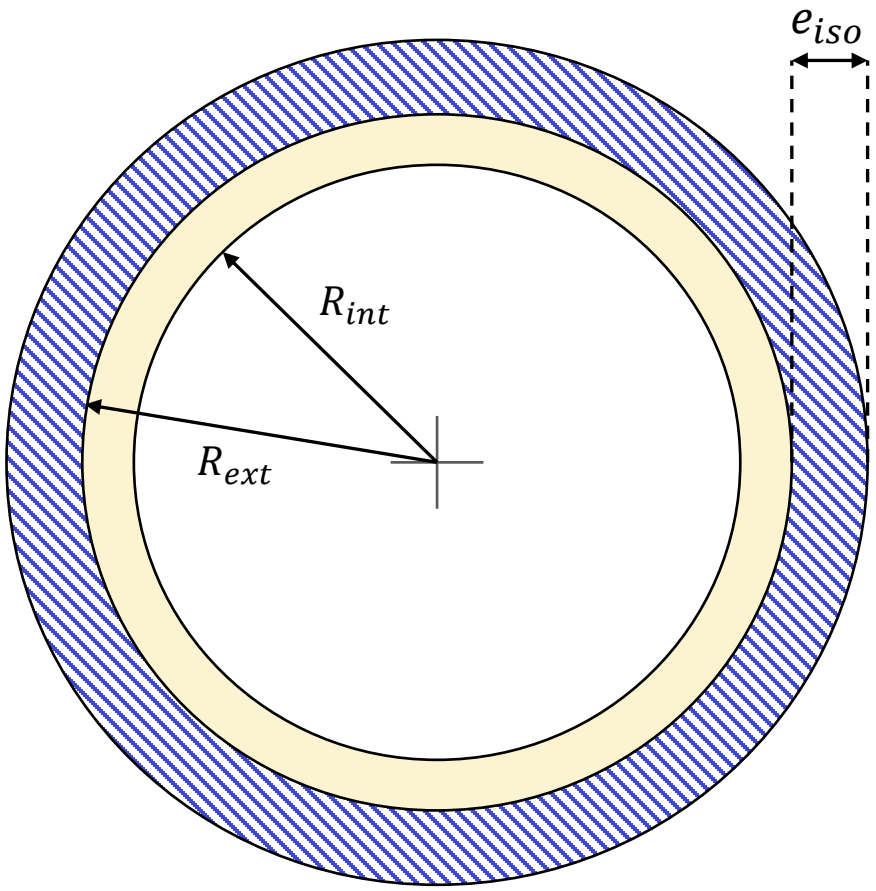


Concevoir le réseau de distribution consiste à :

- Calculer le diamètre des tuyaux
- Calculer l'épaisseur de l'isolant
- Calculer les pertes de charge



5.1 Tuyaux



Concevoir le réseau de distribution consiste à :

- Calculer le diamètre des tuyaux

Pour limiter le bruit et les vibrations, il faut limiter la vitesse de l'eau à $v = 1m/s$

$$\dot{m}_w = \rho\, v\, S = \rho\, v\, \frac{\pi\, D^2}{4}$$

$$D = \sqrt{\frac{4\, \dot{m}_w}{\pi\, \rho\, v}}$$

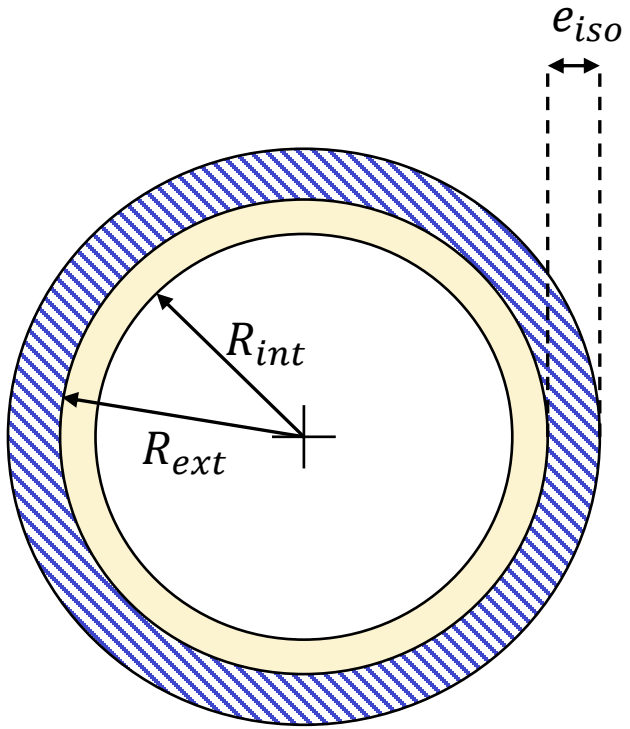
Pour limité les pertes de charge linéiques $\Delta p = 100\ pa/m$

$$\Delta p = \Lambda\, \rho\, \frac{v^2}{2} = \frac{8\, \Lambda}{\rho \pi^2}\, \frac{\dot{m}_w^2}{D^4}$$

$$\Lambda = \frac{64}{Re}\ \ if\ Re < 2300$$

$$\Lambda = 0{,}3164\, Re^{-0{,}25}\ if\ Re > 4000$$

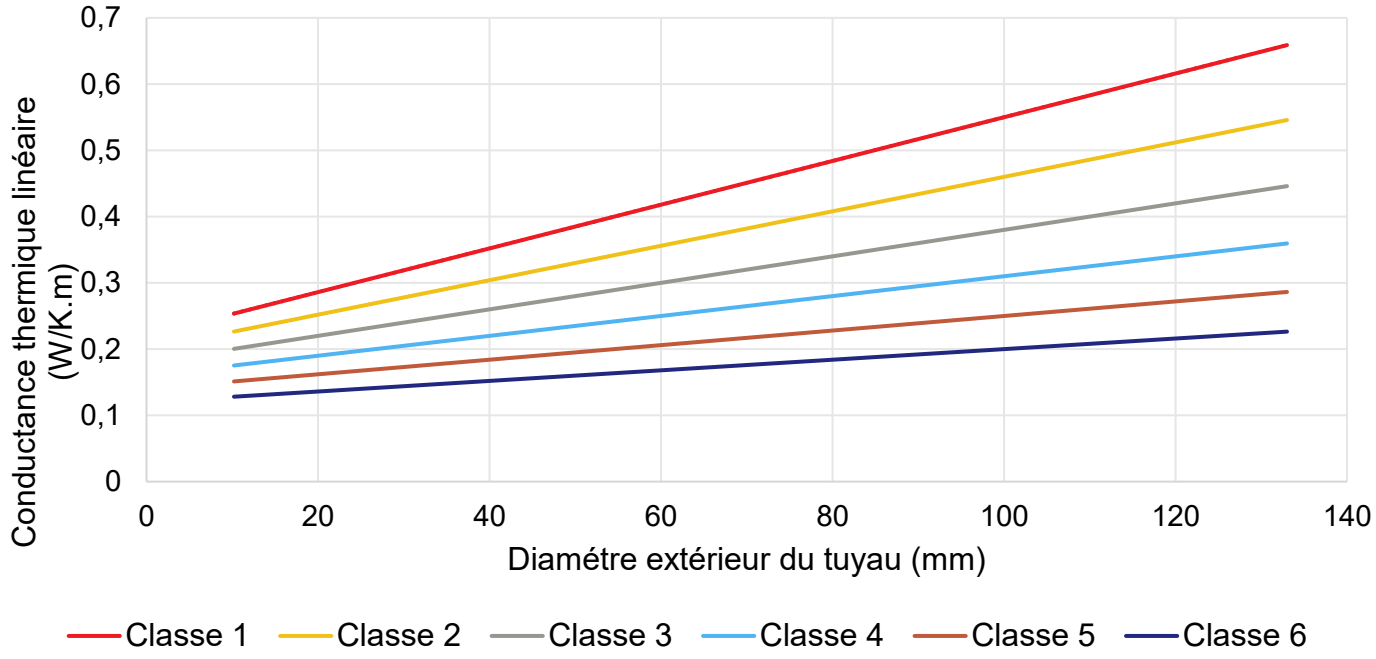
5.1 Tuyaux



$$\frac{1}{U_l} = \frac{1}{h_{int} 2\pi R_{int}} \frac{\ln\left(\frac{e_{iso} + R_{ext}}{R_{ext}}\right)}{2\pi\,\lambda} + \frac{1}{h_{ext}\, 2\pi\,(e_{iso} + R_{ext})}$$

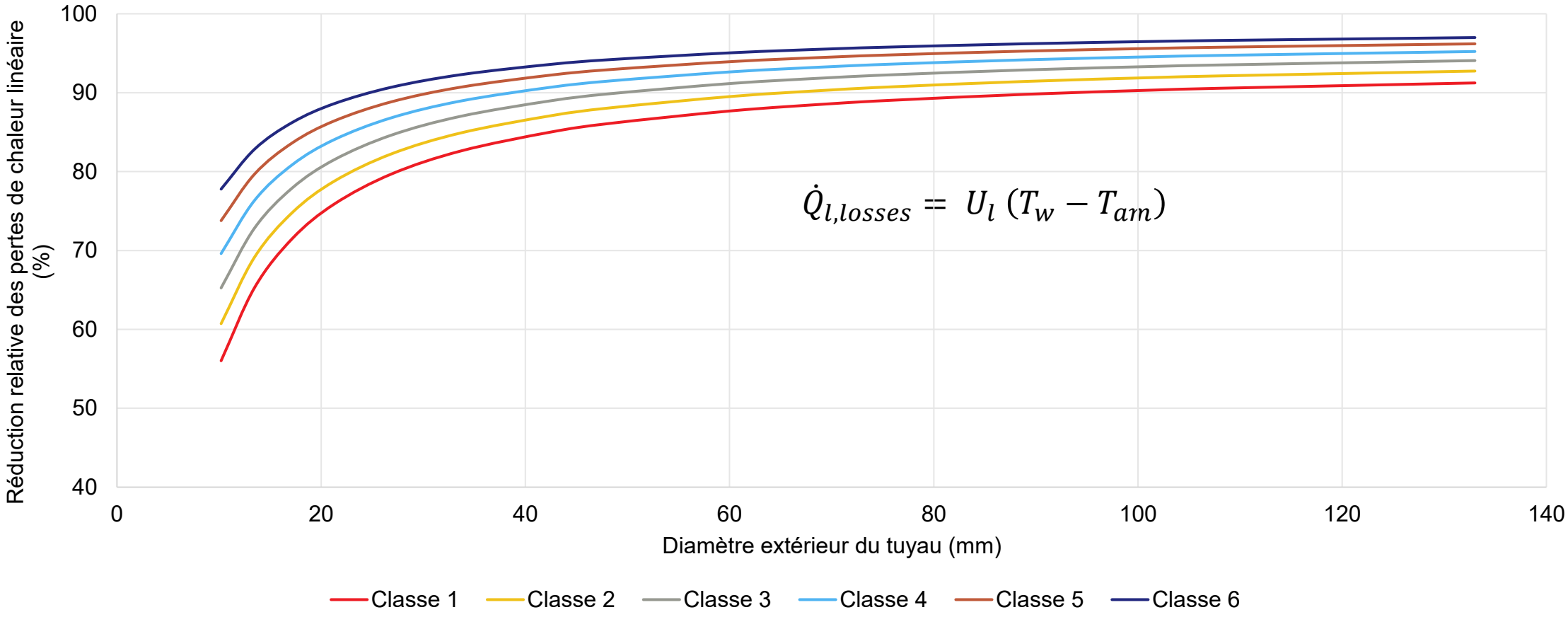
Concevoir le réseau de distribution consiste à :

- Calculer le diamètre des tuyaux
- Calculer l'épaisseur de l'isolant



5.1 Tuyaux

Réduction relative des pertes thermiques linéaires pour $\lambda_{iso} = 0{,}03 \frac{W}{k}.m \;\; T_w = 60°C \; and \; T_{amb} = 20°C$

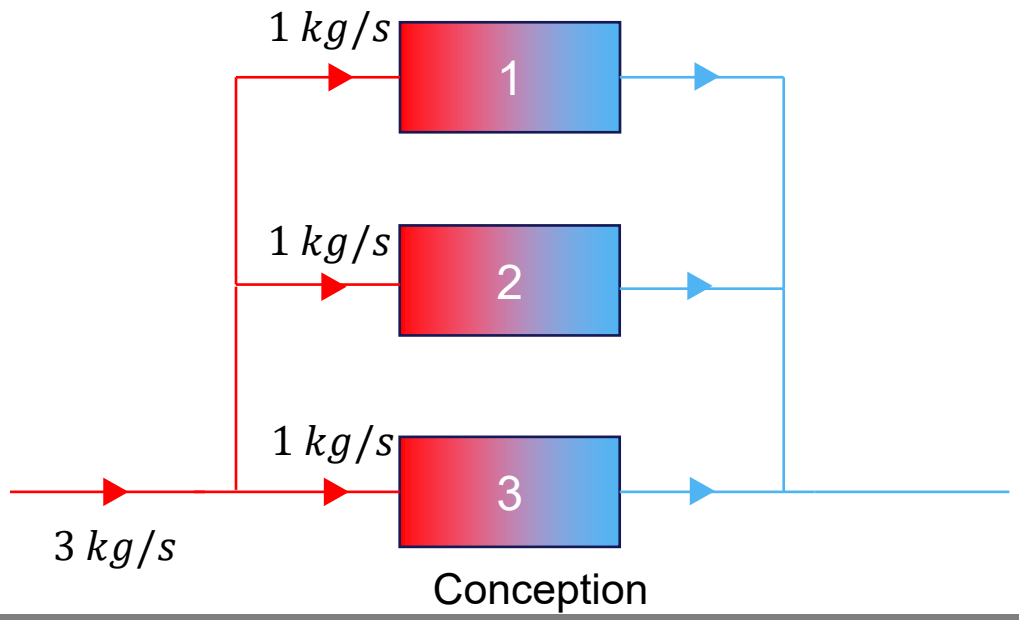


5.1 Tuyaux

$$\Delta p = \Lambda \rho \frac{v^2}{2} = \frac{8 \Lambda}{\rho \pi^2} \frac{\dot{m}_w^2}{D^4} = Z \dot{m}_w^2$$

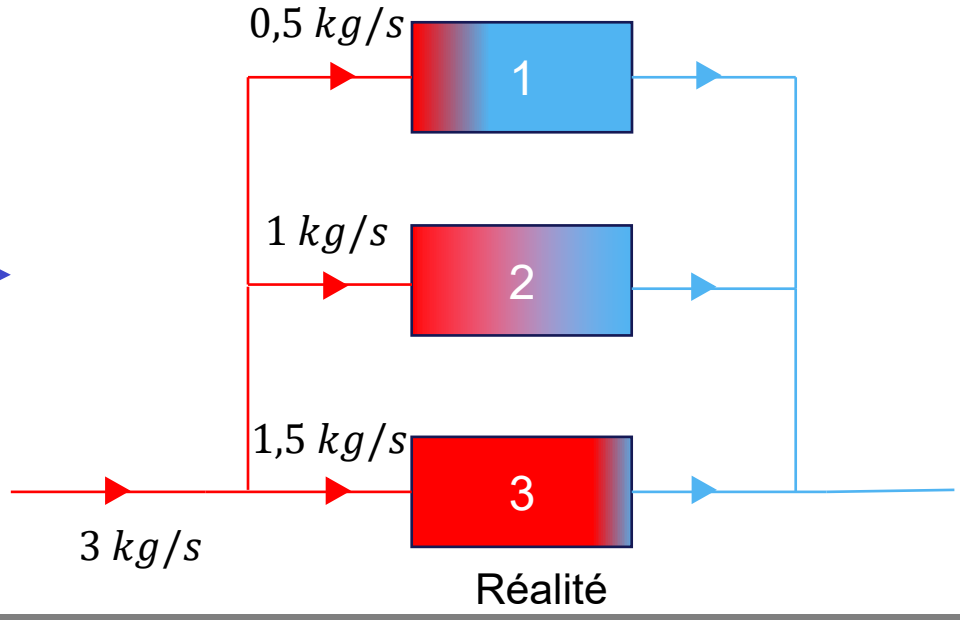
Concevoir le réseau de distribution consiste à :

- Calculer le diamètre des tuyaux
- Calculer l'épaisseur de l'isolant
- Calculer les pertes de charge



Conception

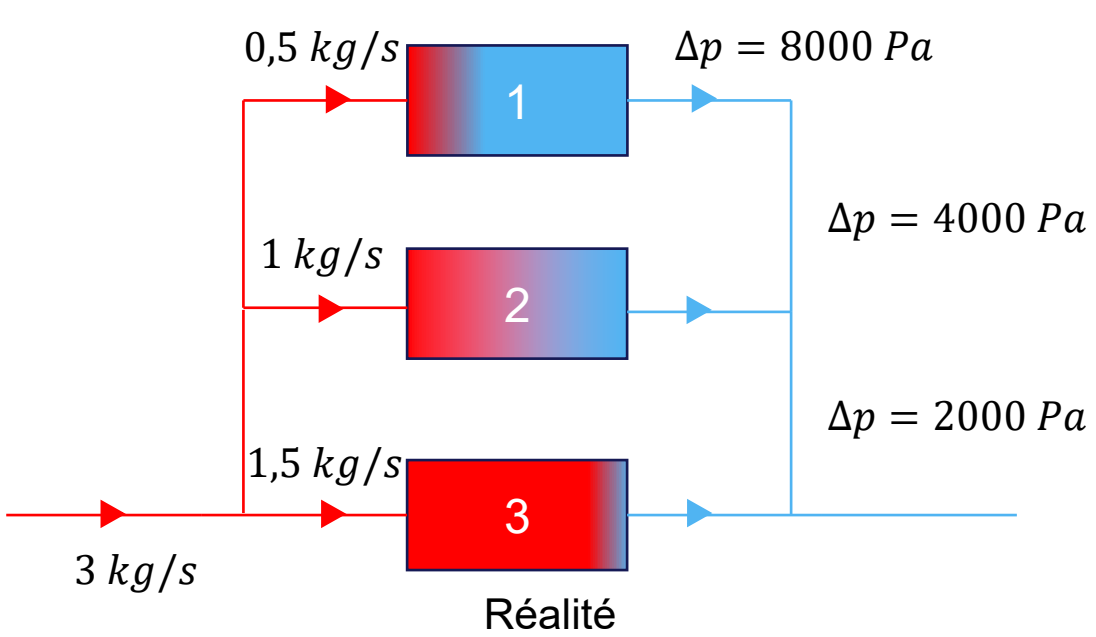
Déséquilibre hydraulique

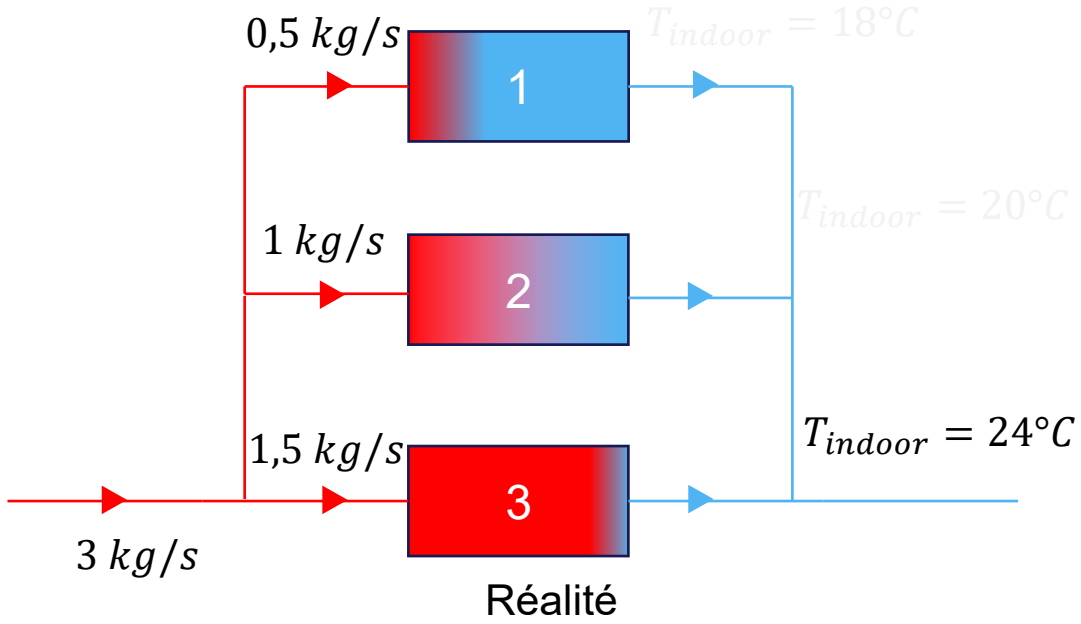


Réalité

5.1 Tuyaux

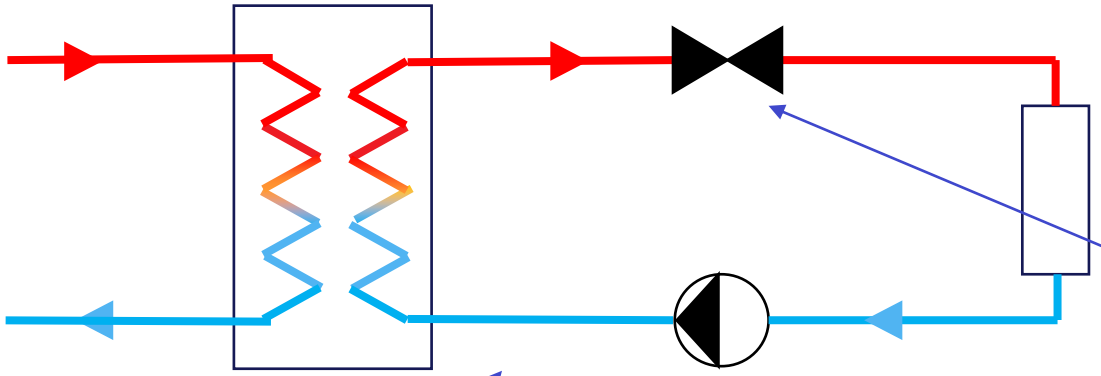
$$\Delta p = \Lambda \rho \frac{v^2}{2} = \frac{8 \Lambda}{\rho \pi^2} \frac{\dot{m}_w^2}{D^4} = Z \dot{m}_w^2$$





Comment réguler le débit au niveau des émetteurs et garantir l'équilibrage hydraulique ?

5. Distribution



Comment concevoir le côté distribution, également appelé côté secondaire ?

Tuyaux



Pompe

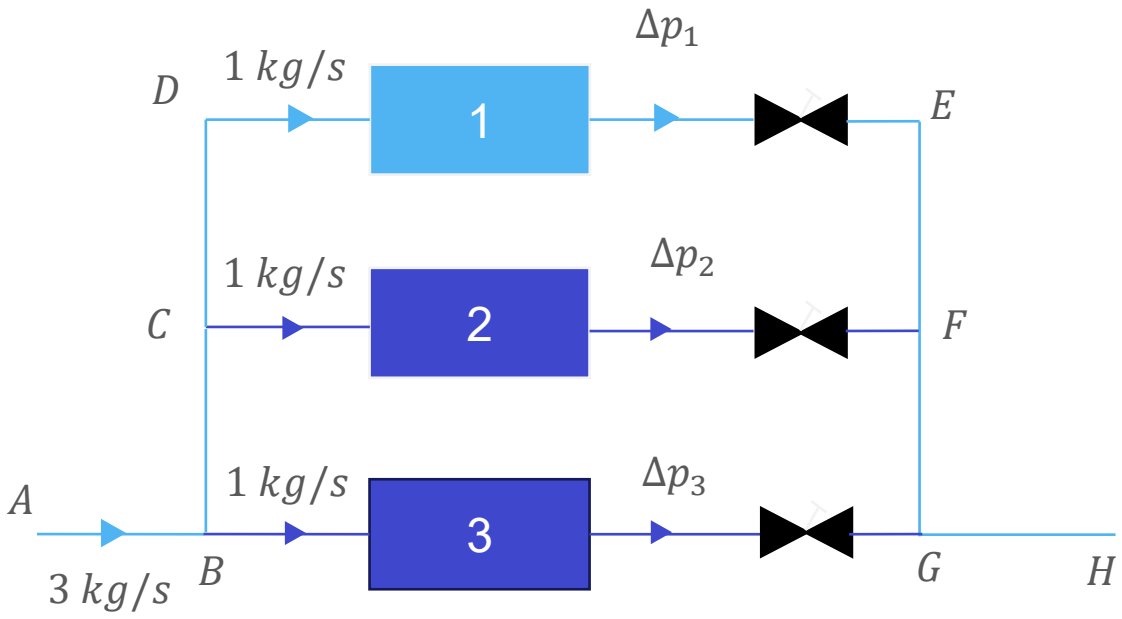


Vannes



5.2 Vannes

Comment réguler le débit au niveau des émetteurs et garantir l'équilibrage hydraulique ?



$$\Delta p_{max} = \Delta p_1 = \Delta p_{AB} + \Delta p_{BC} + \Delta p_{CD} + \Delta p_{DE} + \Delta p_{valve} + \Delta p_{EF} + \Delta p_{FG} + \Delta p_{GH}$$

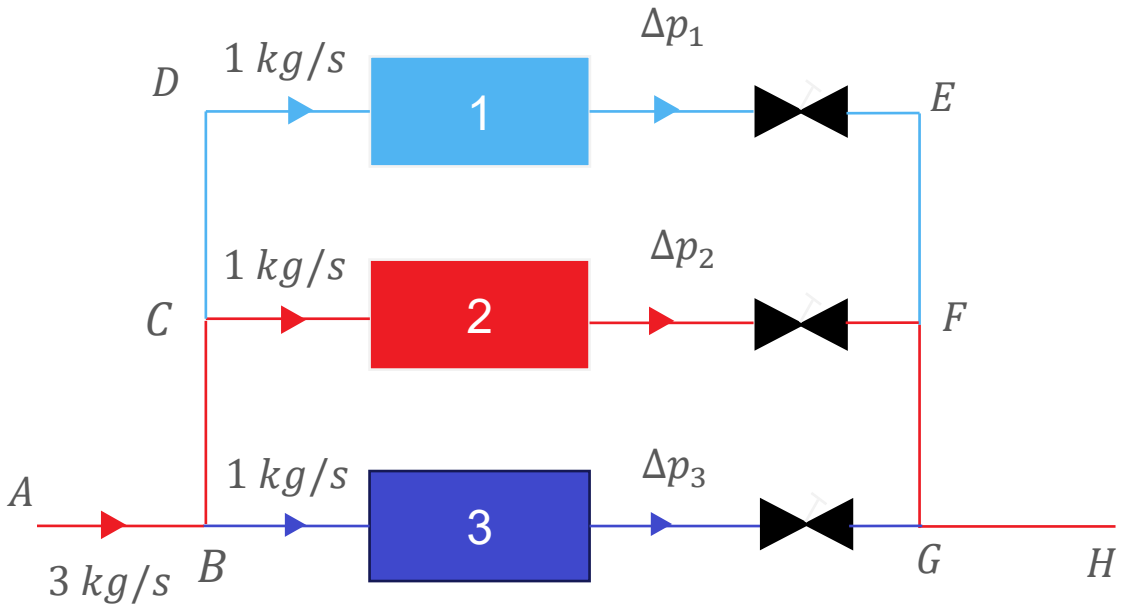
$$\Delta p_{max} = \Delta p_2 = \Delta p_{AB} + \Delta p_{BC} + \Delta p_{CF} + \Delta p_{valve}\ \Delta p_{FG} + \Delta p_{GH}$$

$$\Delta p_{max} = \Delta p_3 = \Delta p_{AB} + \Delta p_{valve}\ \Delta p_{BG} + \Delta p_{GH}$$

Équilibrage hydraulique statique par ajout de pertes de charge à l'aide de vannes d'équilibrage. Toutes les dérivations doivent présenter les mêmes pertes de charge.

5.2 Vannes

Comment réguler le débit au niveau des émetteurs et garantir l'équilibrage hydraulique ?



$$\Delta p_{max} = \Delta p_1 = \Delta p_{AB} + \Delta p_{BC} + \Delta p_{CD} + \Delta p_{DE} + \Delta p_{valve} + \Delta p_{EF} + \Delta p_{FG} + \Delta p_{GH}$$

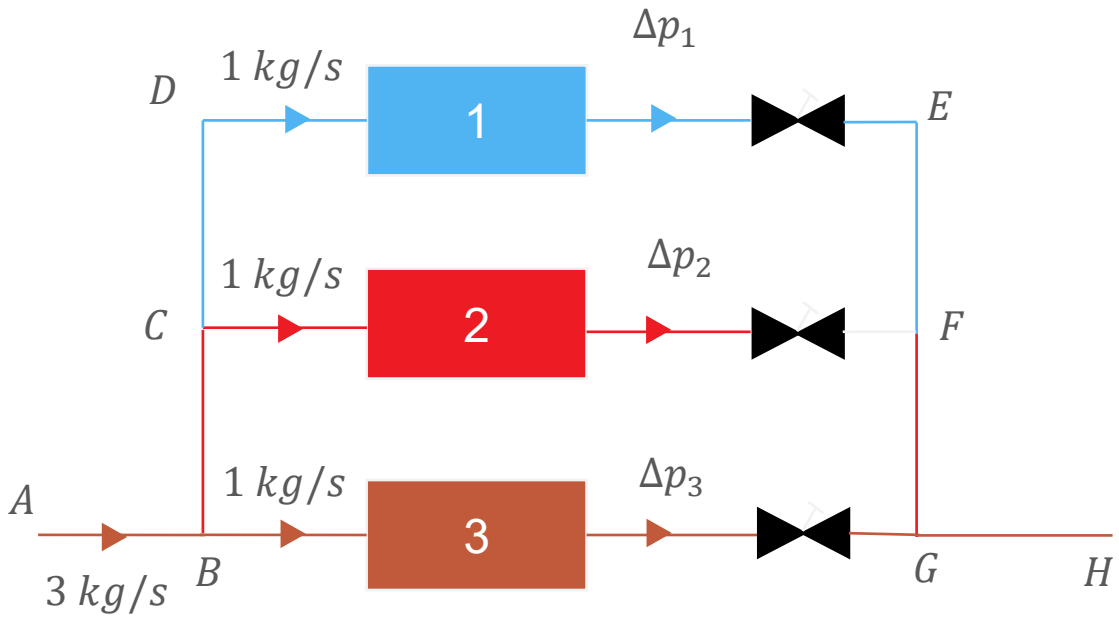
$$\Delta p_{max} = \Delta p_2 = \Delta p_{AB} + \Delta p_{BC} + \Delta p_{CF} + \Delta p_{valve}\ \Delta p_{FG} + \Delta p_{GH}$$

$$\Delta p_{max} = \Delta p_3 = \Delta p_{AB} + \Delta p_{valve}\ \Delta p_{BG} + \Delta p_{GH}$$

Équilibrage hydraulique statique par ajout de pertes de charge à l'aide de vannes d'équilibrage. Toutes les dérivations doivent présenter les mêmes pertes de charge.

5.2 Vannes

Comment réguler le débit au niveau des émetteurs et garantir l'équilibrage hydraulique ?



$$\Delta p_{max} = \Delta p_1 = \Delta p_{AB} + \Delta p_{BC} + \Delta p_{CD} + \Delta p_{DE} + \Delta p_{valve} + \Delta p_{EF} + \Delta p_{FG} + \Delta p_{GH}$$

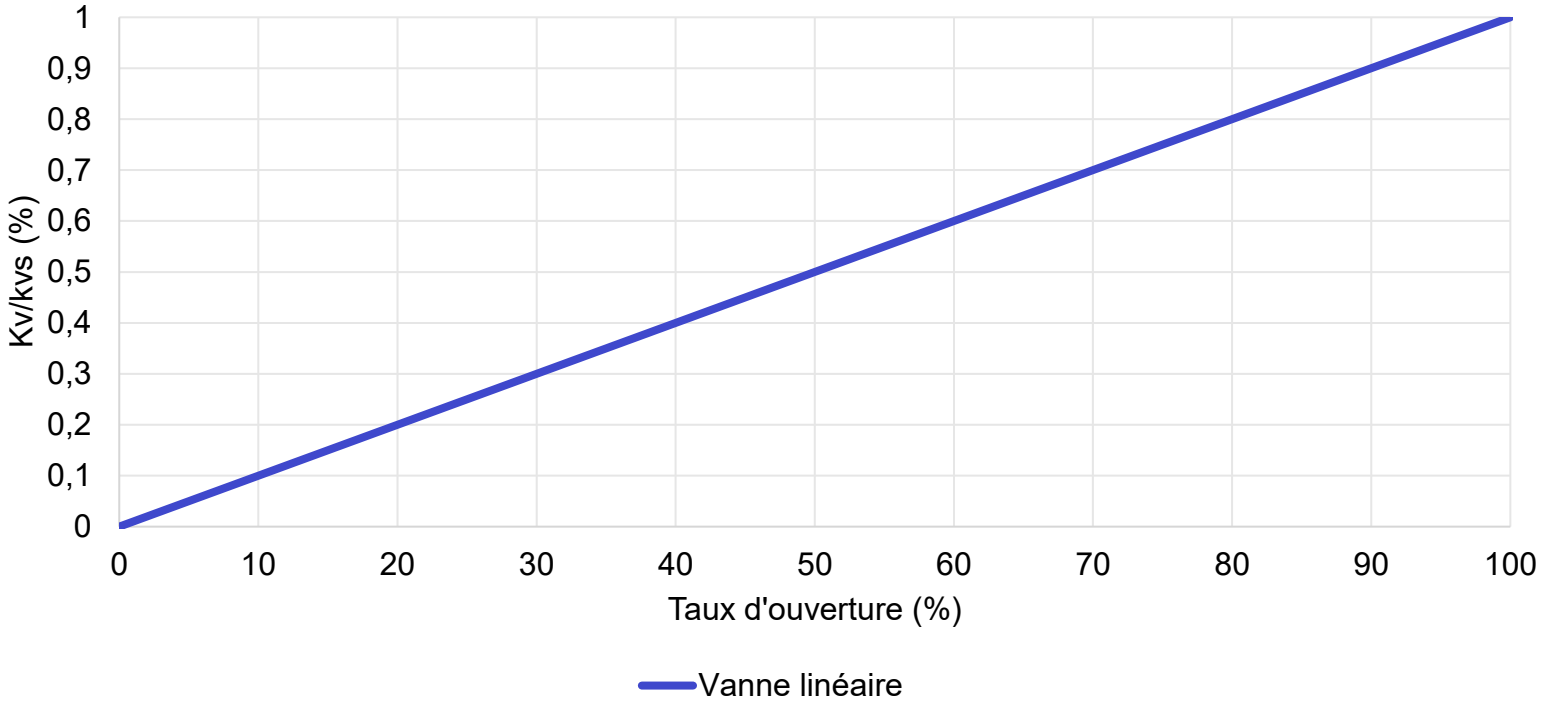
$$\Delta p_{max} = \Delta p_2 = \Delta p_{AB} + \Delta p_{BC} + \Delta p_{CF} + \Delta p_{valve}\ \Delta p_{FG} + \Delta p_{GH}$$

$$\Delta p_{max} = \Delta p_3 = \Delta p_{AB} + \Delta p_{valve}\ \Delta p_{BG} + \Delta p_{GH}$$

Équilibrage hydraulique statique par ajout de pertes de charge à l'aide de vannes d'équilibrage. Toutes les dérivations doivent présenter les mêmes pertes de charge.

5.2 Vannes

Comment réguler le débit au niveau des émetteurs et garantir l'équilibrage hydraulique ?



$$\dot{m} = Kv_s \sqrt{\Delta p}\ opening$$

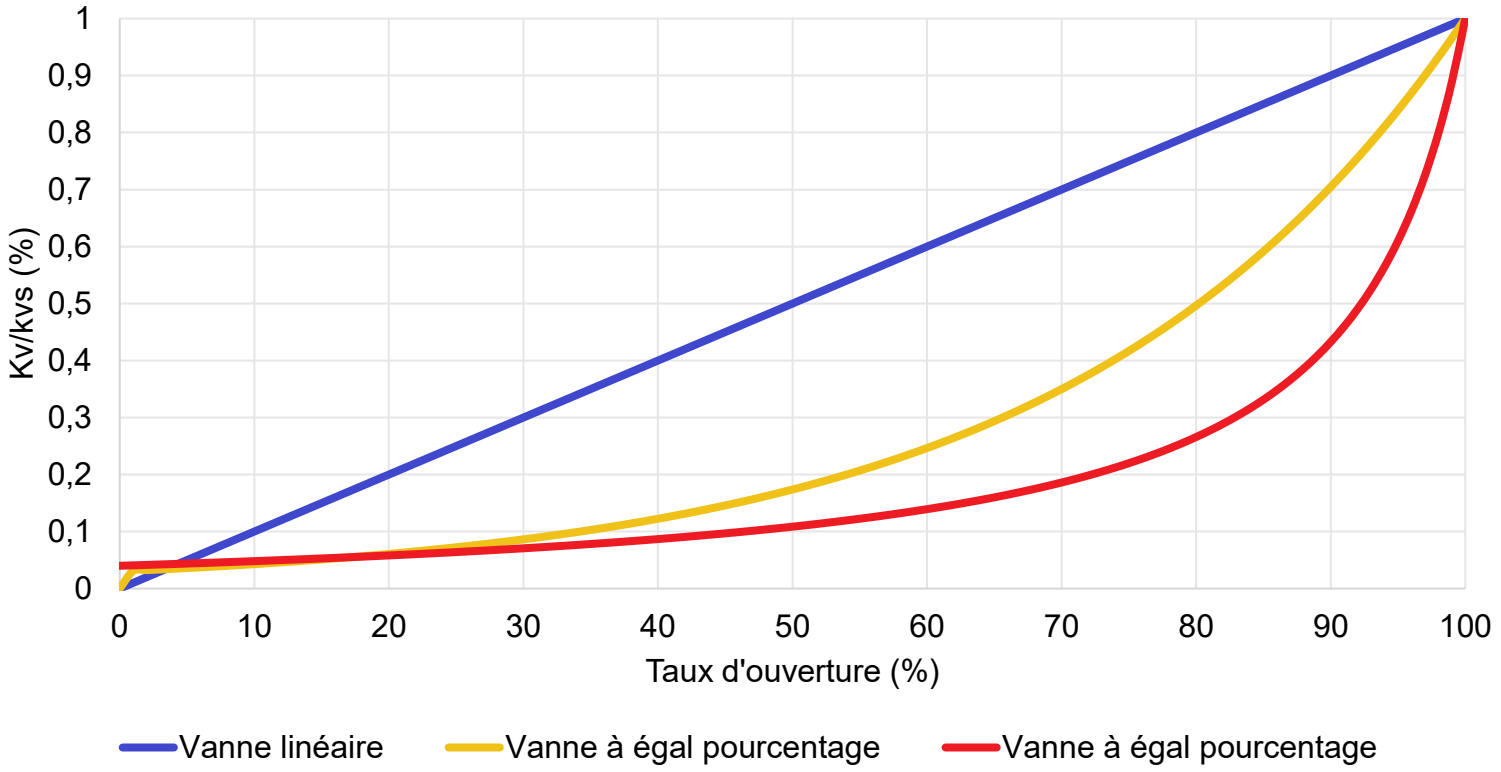
$$Pour\ \Delta p = 1\ bar$$

$$\frac{\dot{m}}{\sqrt{\Delta p}} = \begin{cases} Kv_s & if\ \ opening = 1 \\ Kv & if\ opening \neq 1 \\ Kv_0 & if\ \ opening = 0 \end{cases}$$

Vanne linéaire : $\frac{Kv}{Kv_s} = opening$

5.2 Valves

Comment réguler le débit au niveau des émetteurs et garantir l'équilibrage hydraulique ?



$$\dot{m} = Kvs\sqrt{\Delta p}\ opening$$

$$Pour\ \Delta p = 1\ bar$$

$$\frac{\dot{m}}{\sqrt{\Delta p}} = \begin{cases} Kv_s & if\ \ opening = 1 \\ Kv & if\ opening \neq 1 \\ Kv_0 & if\ \ opening = 0 \end{cases}$$

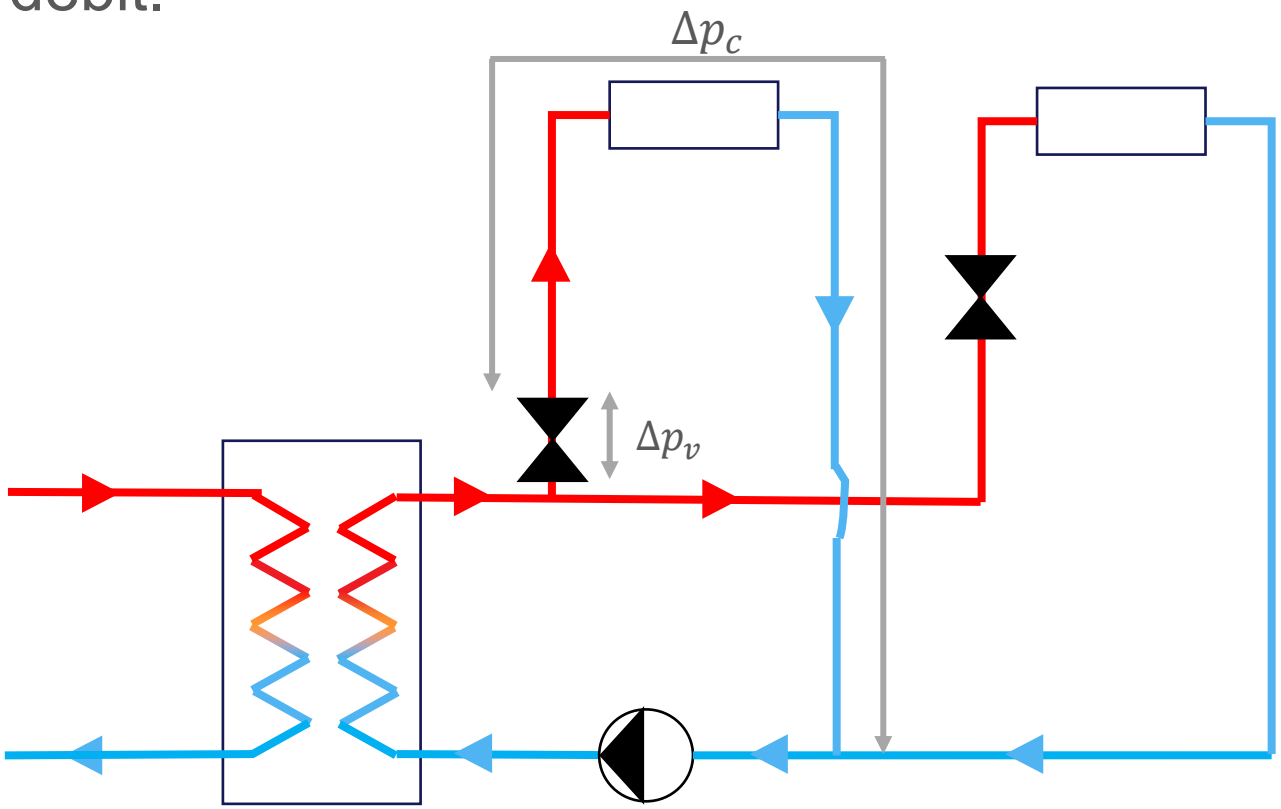
Vanne linéaire : $\frac{Kv}{Kv_s} = opening$

Egal pourcentage:

$$\frac{(Kv - Kv_0)/(Kv + Kv_0)}{(Kv_s - Kv_0)/(Kv_s + Kv_0)} = opening$$

5.2 Vannes

Autorité : L'autorité d'une vanne désigne sa capacité à garantir la progressivité du débit.



$$Autorité \ : \ a = \frac{\Delta p_v}{\Delta p_v + \Delta p_c}$$

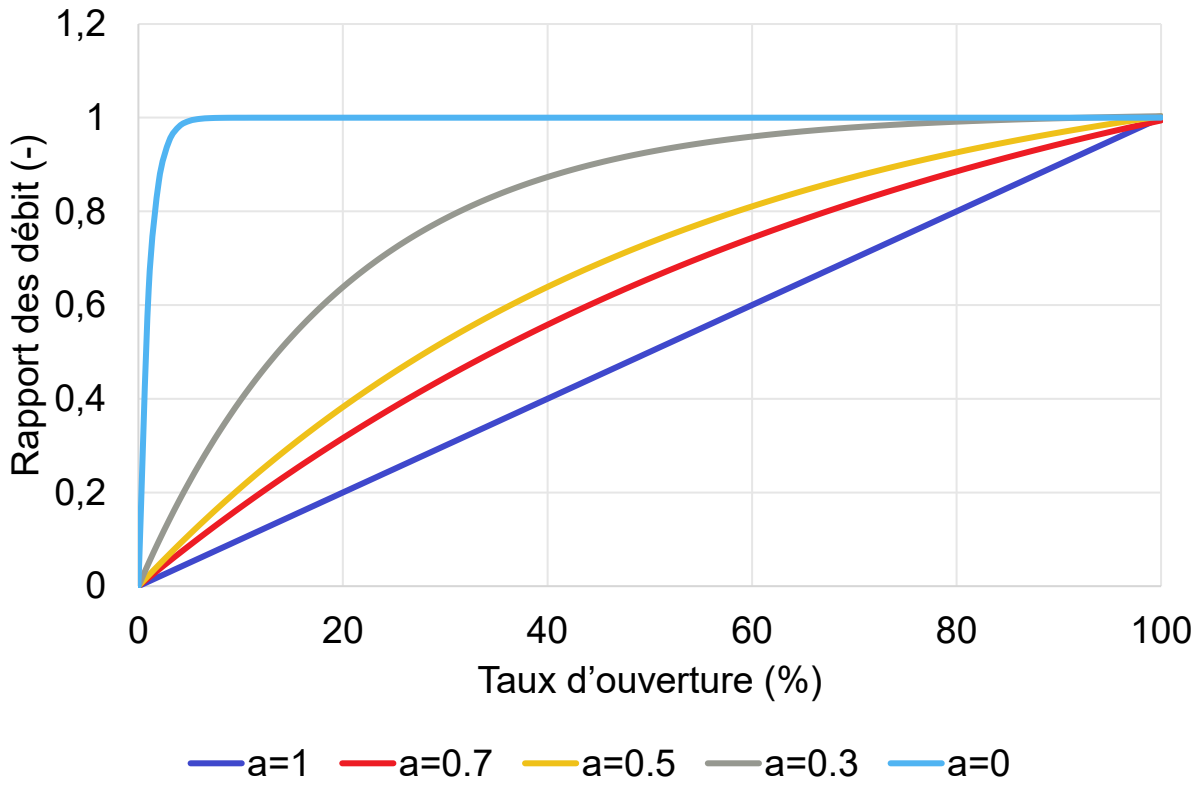
Δp_v : La perte de charge en position d'ouverture totale de la vanne

Δp_c : Perte de charge de la boucle à réguler

Pour que la vanne fonctionne correctement, l'autorité doit être comprise entre 0,3 et 0,7. Souvent, la vanne est dimensionnée pour $a = 0.5$

5.2 Vannes

Autorité : L'autorité d'une vanne désigne sa capacité à garantir la progressivité du débit.



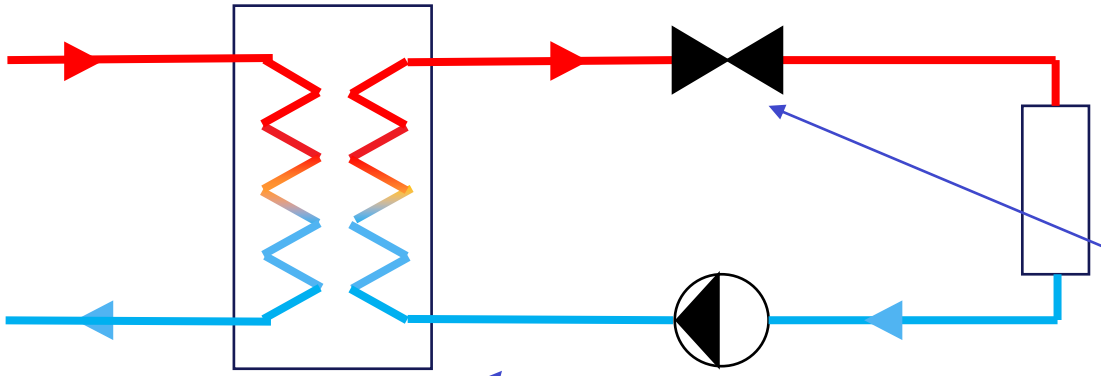
$$Authority: \ a = \frac{\Delta p_v}{\Delta p_v + \Delta p_c}$$

Δp_v : La perte de charge en position d'ouverture totale de la vanne

Δp_c : Perte de charge de la boucle à réguler

Pour que la vanne fonctionne correctement, l'autorité doit être comprise entre 0,3 et 0,7. Souvent, la vanne est dimensionnée pour $a = 0.5$

5. Distribution



Comment concevoir le côté distribution, également appelé côté secondaire ?

Tuyaux



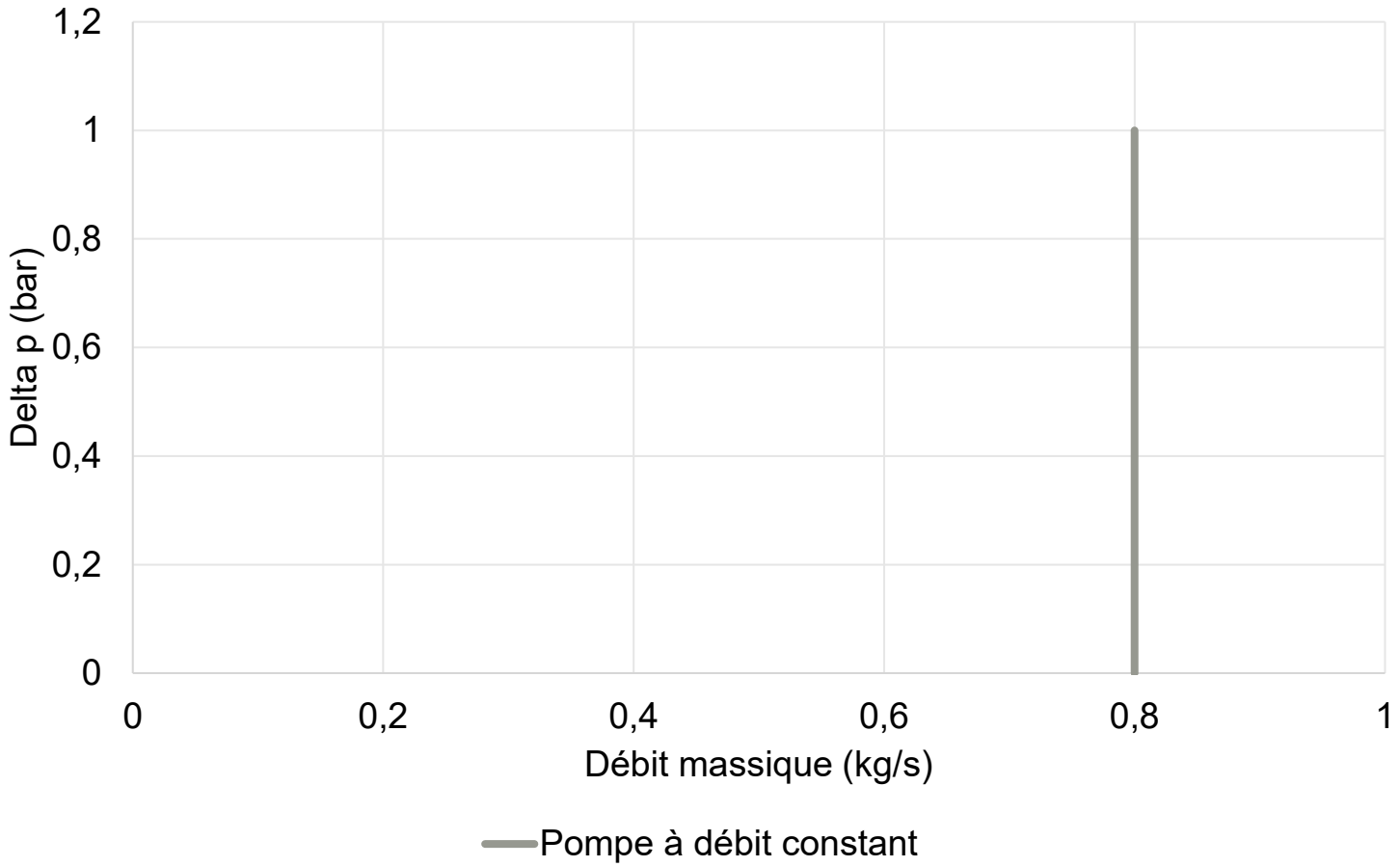
Pompe



Vannes



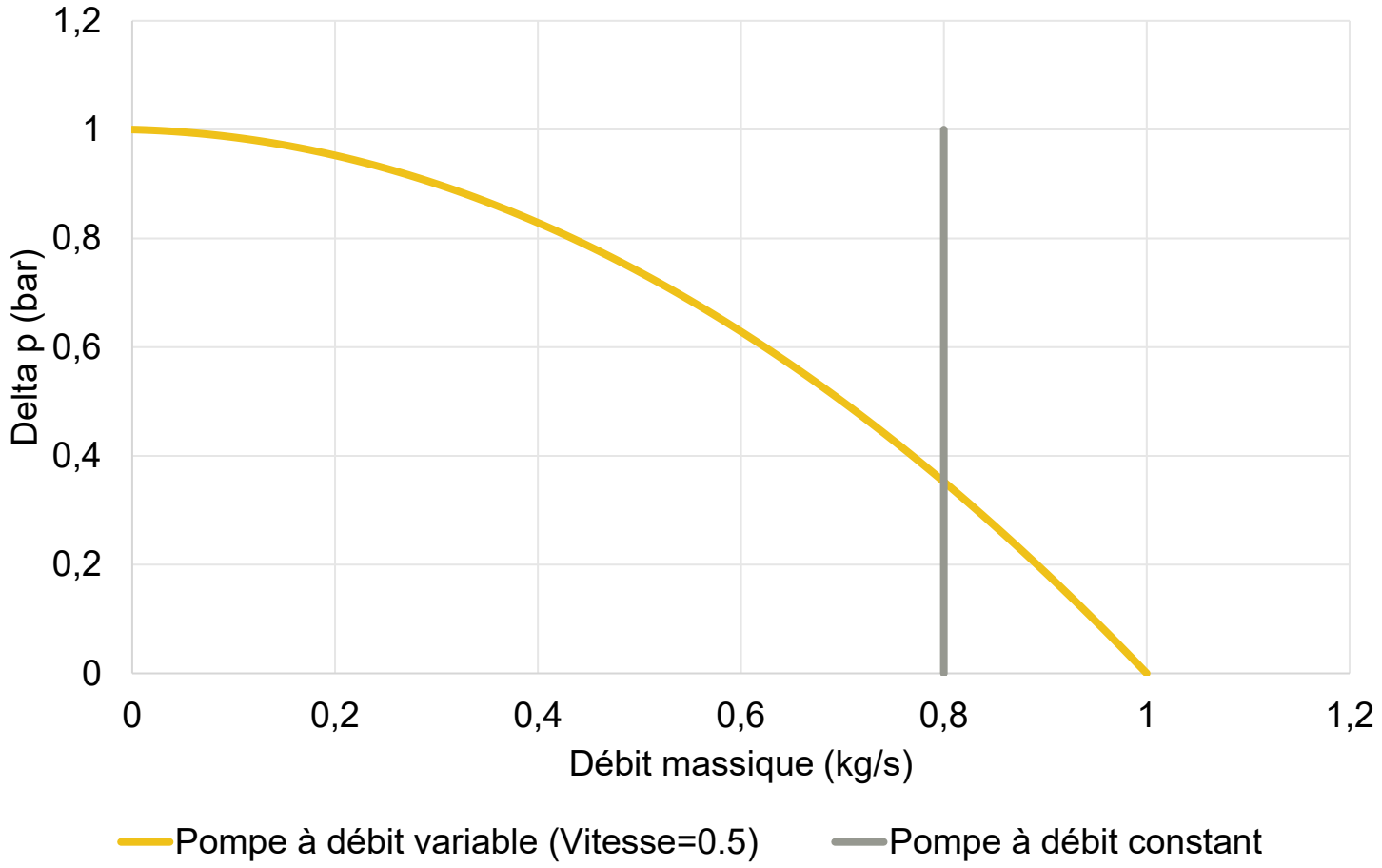
5.3 Pompes



3 types de pompes:

- Pompe à débit constant

5.3 Pompes

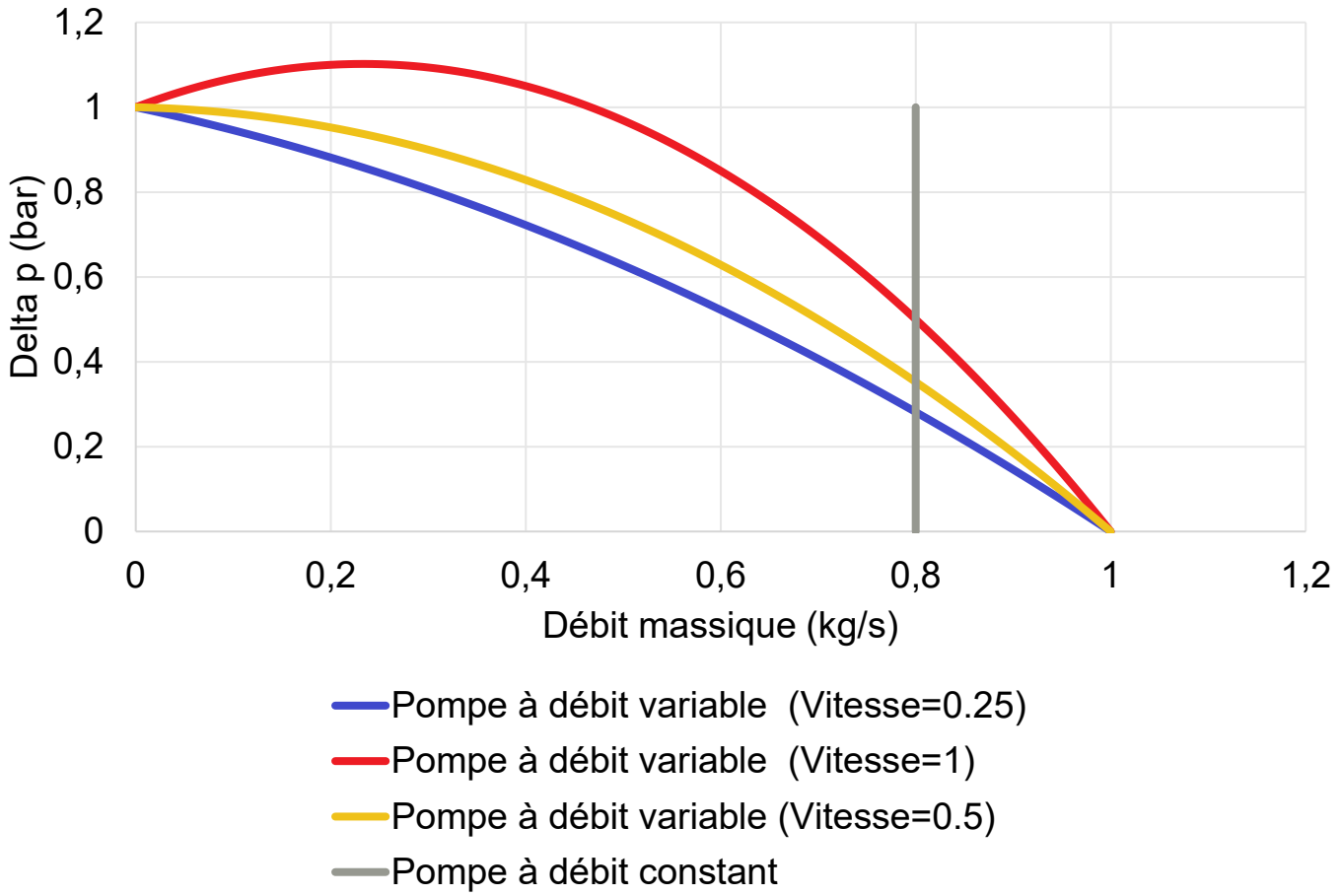


3 types de pompes:

- Pompe à débit constant
- Pompe à débit variable à vitesse constante

$$\Delta p = A\,\dot{V}^2 + B\dot{V} + C$$

5.3 Pompes



3 types de pompes:

- Pompe à débit constant
- Pompe à débit variable à vitesse constante

$$\Delta p = A\,\dot{V}^2 + B\dot{V} + C$$

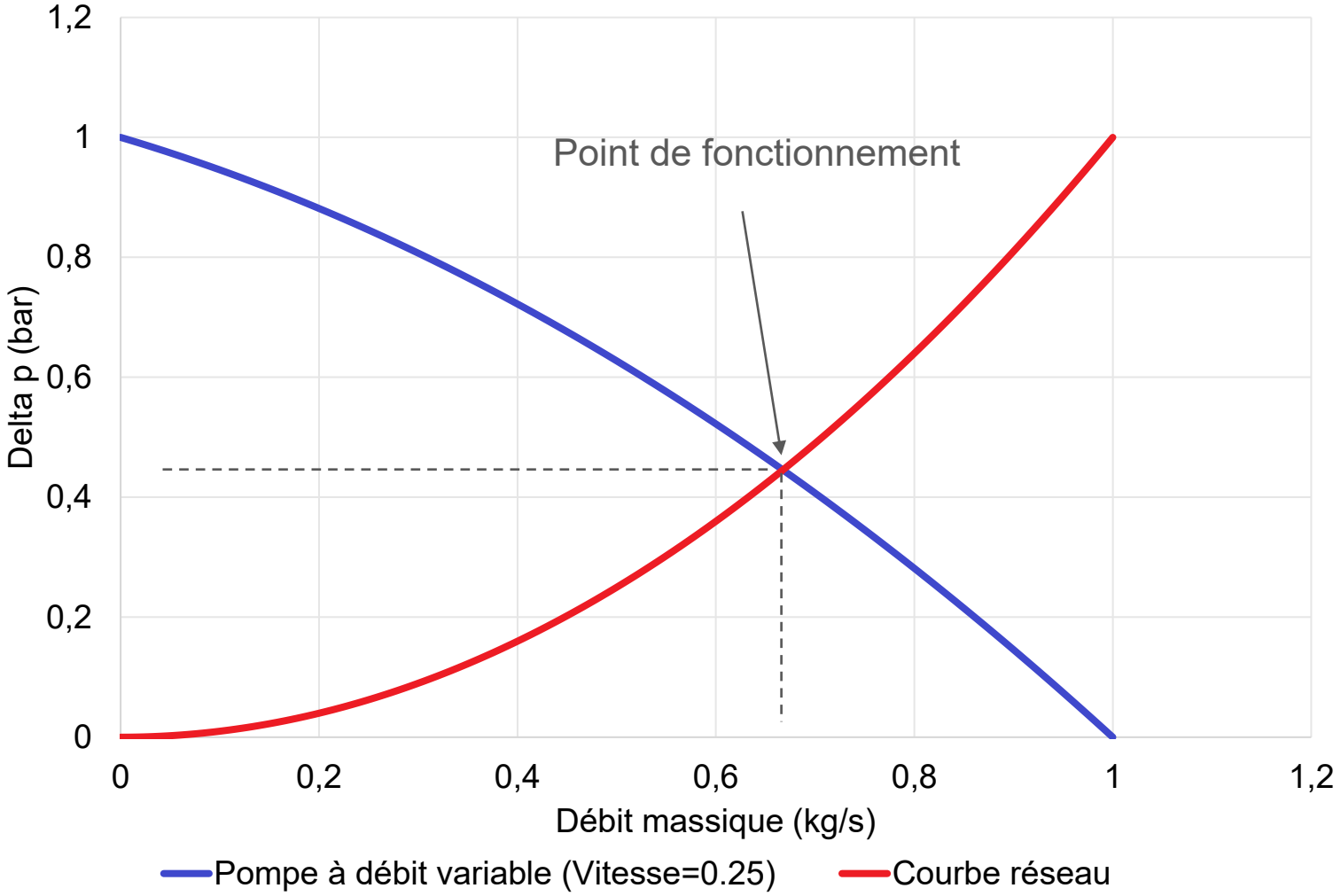
- Pompe à débit et vitesse variable

$$\Delta p = A\,\dot{V}^2 + B\,\dot{V} + C$$

Avec $A, B\ et\ C$ qui dépendent de la vitesse

Puissance électrique: $P_{elec} = \frac{\Delta p\,\dot{V}}{\eta_{elec}\,\eta_{hydro}}$

5.3 Pompes



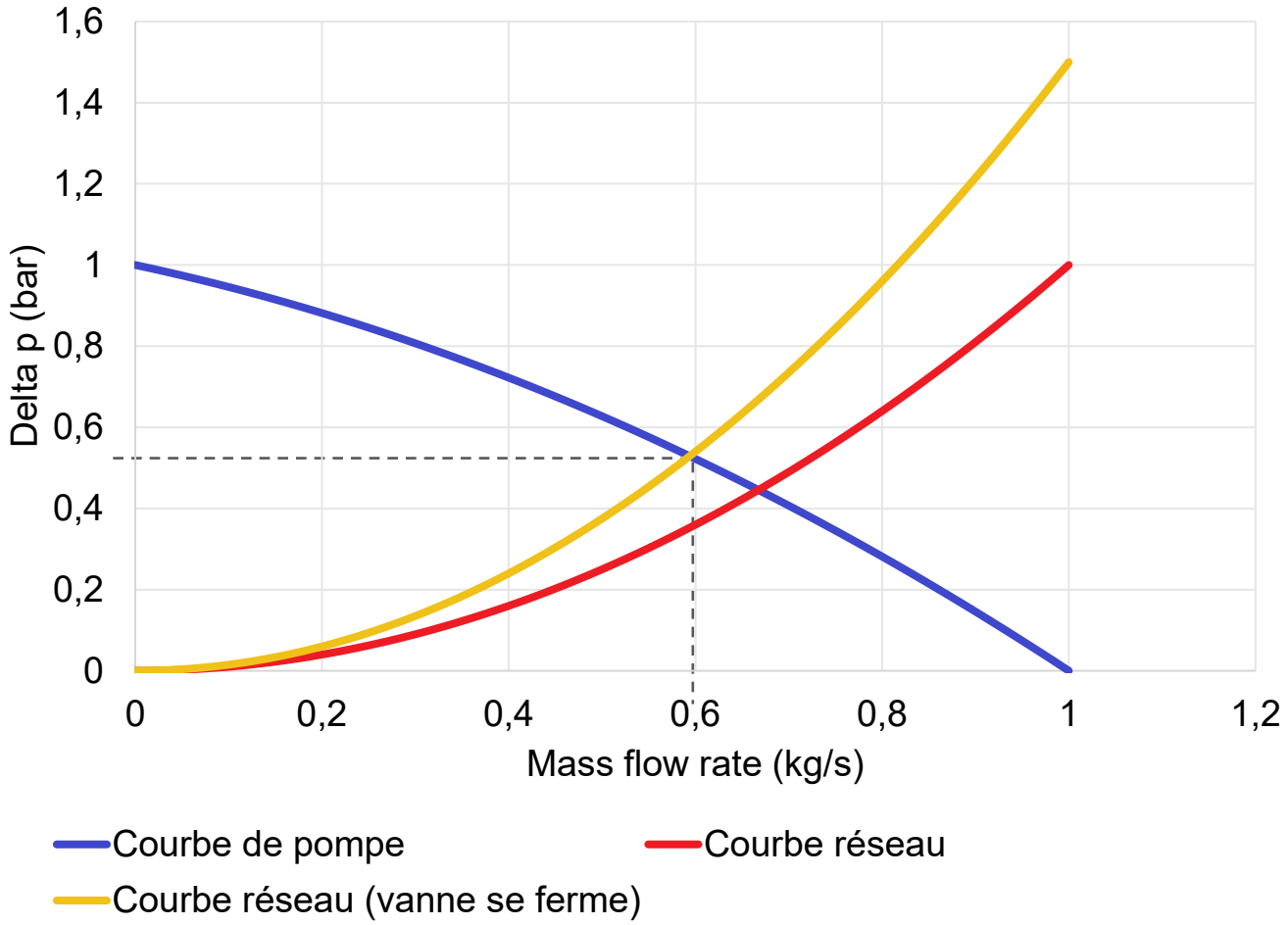
La courbe caractéristique du réseau dépend :

- des pertes de charge dans la canalisation

- des pertes de charge dues à l'ouverture de la vanne

Le débit massique d'un réseau correspond au point d'intersection entre la courbe de la pompe et celle du réseau. Ce point est appelé « point de fonctionnement ».

5.3 Pompes



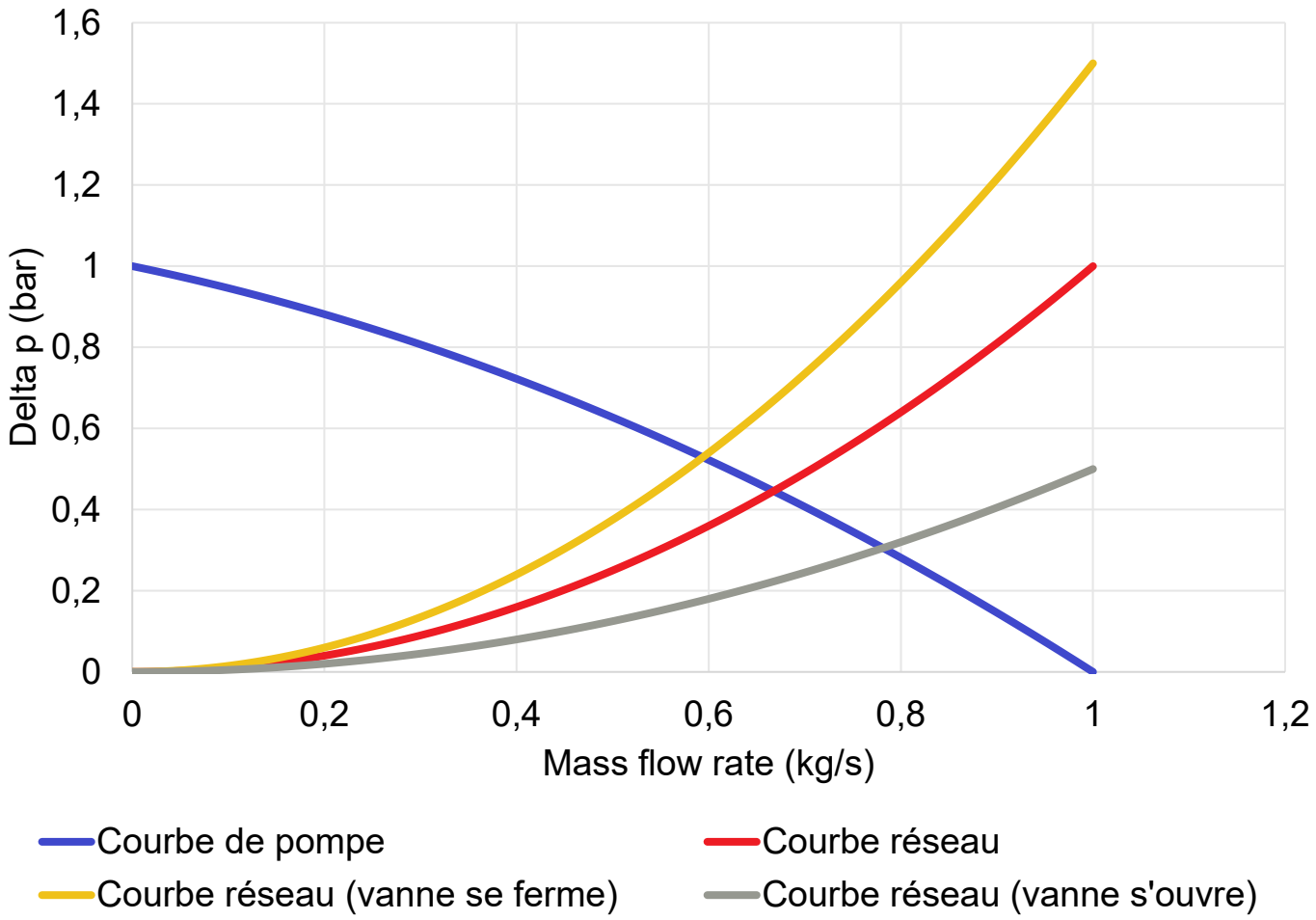
La courbe caractéristique du réseau dépend :

- des pertes de charge dans la canalisation
- des pertes de charge dues à l'ouverture de la vanne

Le débit massique d'un réseau correspond au point d'intersection entre la courbe de la pompe et la courbe du réseau. Ce point est appelé « point de fonctionnement ».

Lorsque la vanne se ferme, les pertes de charge du réseau varient et la courbe du réseau est modifiée.

5.3 Pompes



La courbe caractéristique du réseau dépend :

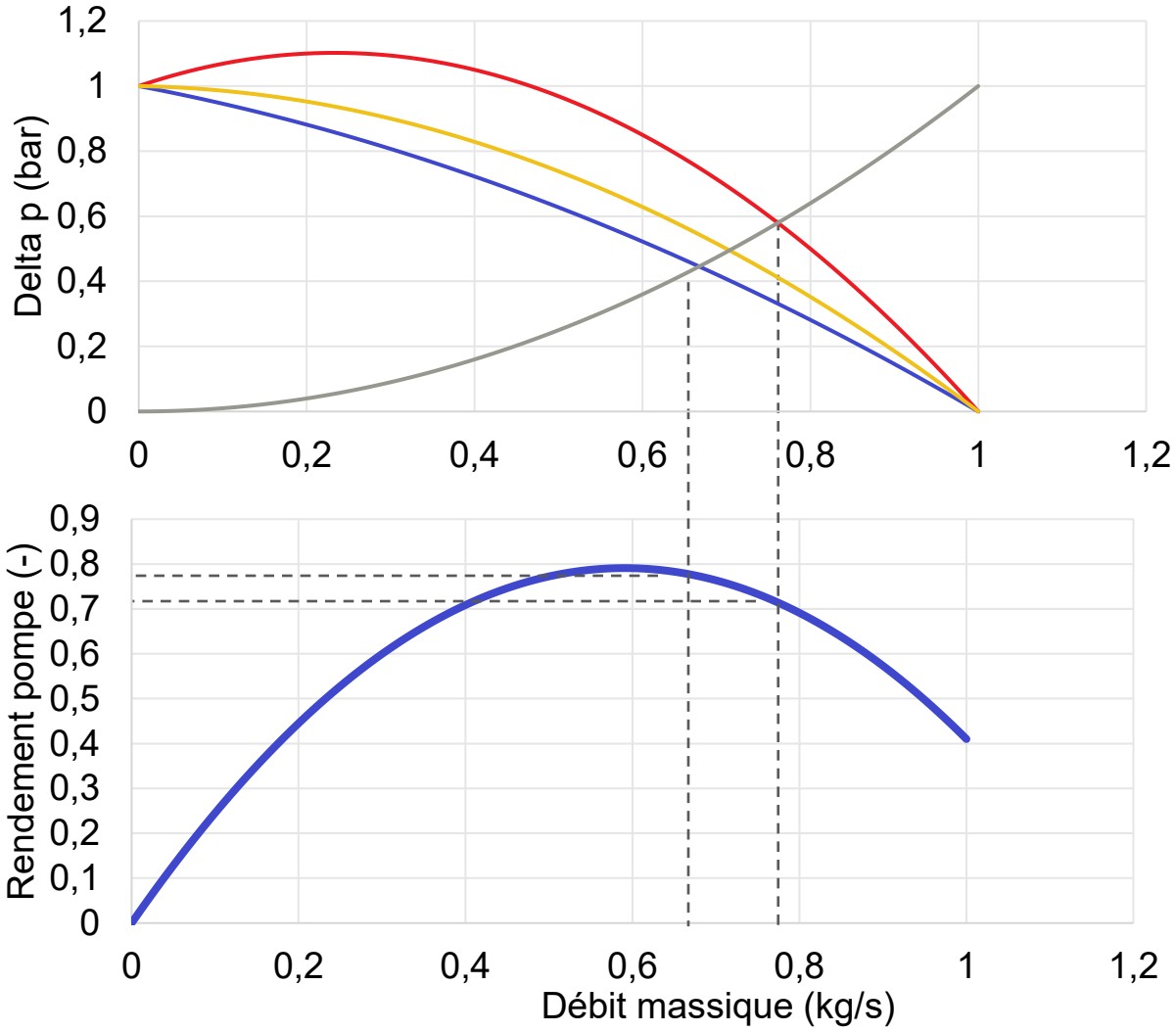
- des pertes de charge dans la canalisation
- des pertes de charge dues à l'ouverture de la vanne

Le débit massique d'un réseau correspond au point d'intersection entre la courbe de la pompe et la courbe du réseau. Ce point est appelé « point de fonctionnement ».

Lorsque la vanne se ferme, les pertes de charge du réseau varient et la courbe du réseau est modifiée.

Pareil quand la vanne s’ouvre

5.3 Pompes



Une pompe à vitesse variable permet d'augmenter son rendement en fonction du débit massique requis.

SHaKE
Sharing Knowledge on Energy Communities

CC BY



Merci !

Module 2.4 – Système de chauffage dans les batiment
SHaKE – Sharing Heat and Knowledge on Energy Communities

https://www.shakeproject-dhc.eu/

Développé par Mines Paris – PSL
Antoine Fabre | antoine.fabre@minesparis.psl.eu
Pascal Stabat | pascal.stabat@minesparis.psl.eu

MŰEGYETEM 1782

UNIVERSITAT JAUME I

MINES PARIS | PSL

Co-funded by
the European Union