Besoin de chauffage et de climatisation dans les bâtiments

Module 2.5
Sous-stations et régulation

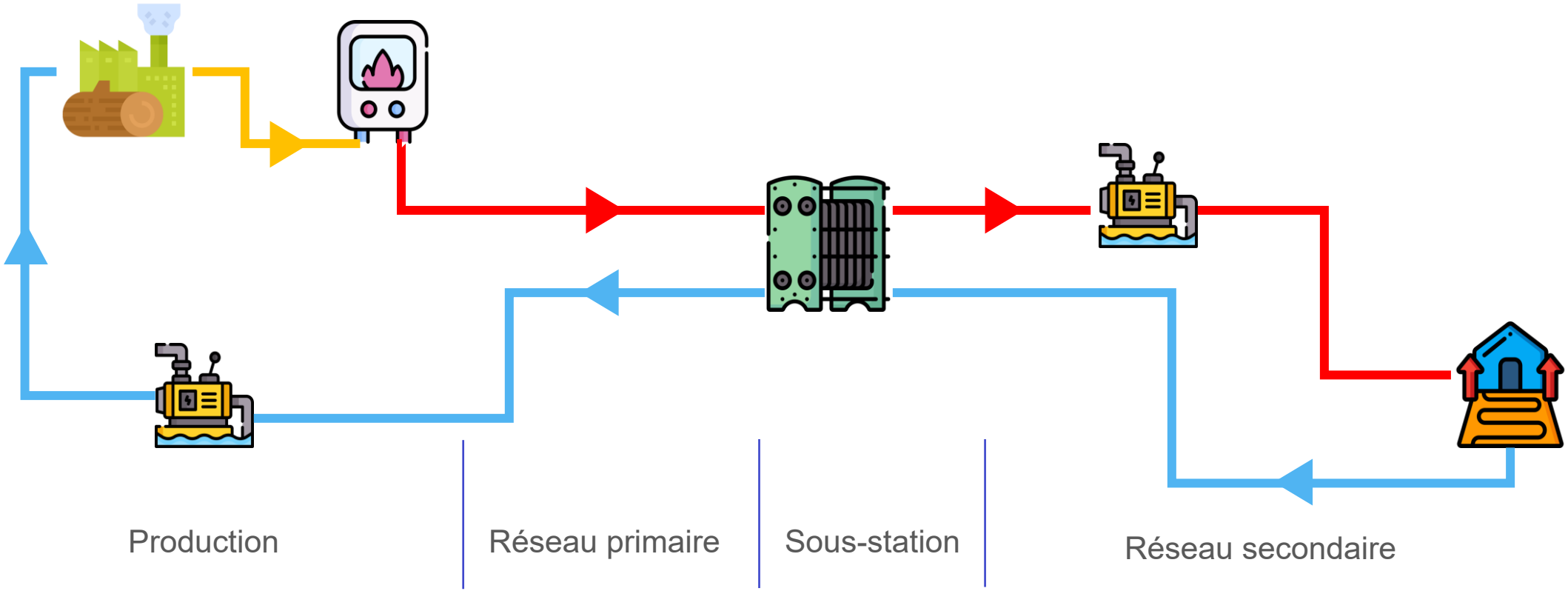
SHaKE – Sharing Heat and Knowledge on Energy Communities
Erasmus+ KA220-HED Cooperation Partnerships in HE
Institution: Mines Paris – PSL
Auteur: Dr. Antoine Fabre
Date: Mars 2026
Version 1.0

SHaKE
Sharing Knowledge on Energy Communities



1. Introduction

Une fois la consommation des bâtiments déterminée et le réseau secondaire dimensionné, il faut choisir et dimensionner la sous-station



2. Composants de la sous-station

La sous-station est l'élément situé à l'interface entre les réseaux primaire et secondaire. Elle permet de séparer hydrauliquement les deux parties d'un réseau de chauffage. C'est également là que l'on calcule la consommation d'énergie.

Une sous-station est composée d'un ou plusieurs :

Echangeur de chaleur à plaques



Vannes de régulation



Capteur et contrôleur



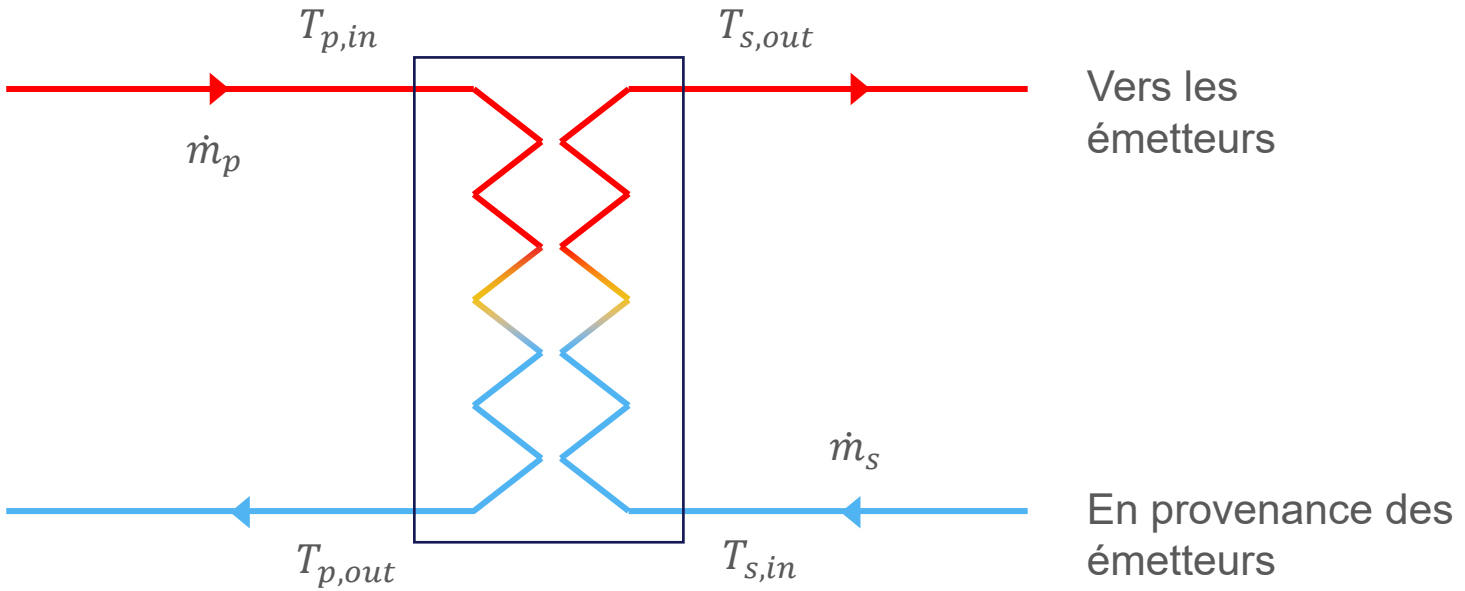
Compteur de chaleur



2. Composants de la sous-station

Echangeur de chaleur à plaques





L'échangeur de chaleur à plaques est l'élément le plus important de la sous-station. Il permet de séparer les circuits primaire et secondaire et d'assurer le transfert de chaleur entre eux.

$$\dot{Q} = \dot{m}_s Cp\left(T_{s,out} - T_{s,in}\right)$$

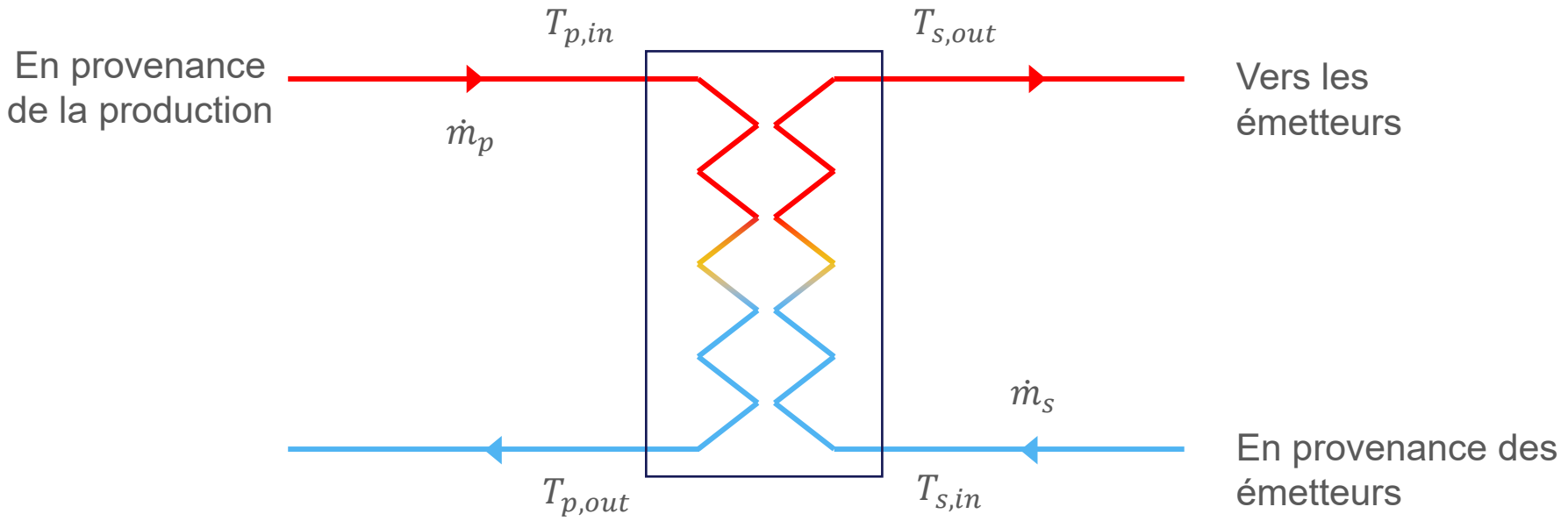
$$\dot{Q} = \dot{m}_p Cp\left(T_{p,in} - T_{p,out}\right)$$

$$E = \frac{\dot{Q}}{\min\left(\dot{m}_p Cp;\ \dot{m}_s Cp\right)\left(T_{p,in} - T_{s,in}\right)}$$

2. Composants de la sous-station

Echangeur de chaleur à plaques





Pour garantir des performances optimales du réseau, la température de retour primaire doit être aussi basse que possible. Par conséquent, la température de pincement de l'échangeur doit être la plus basse possible.

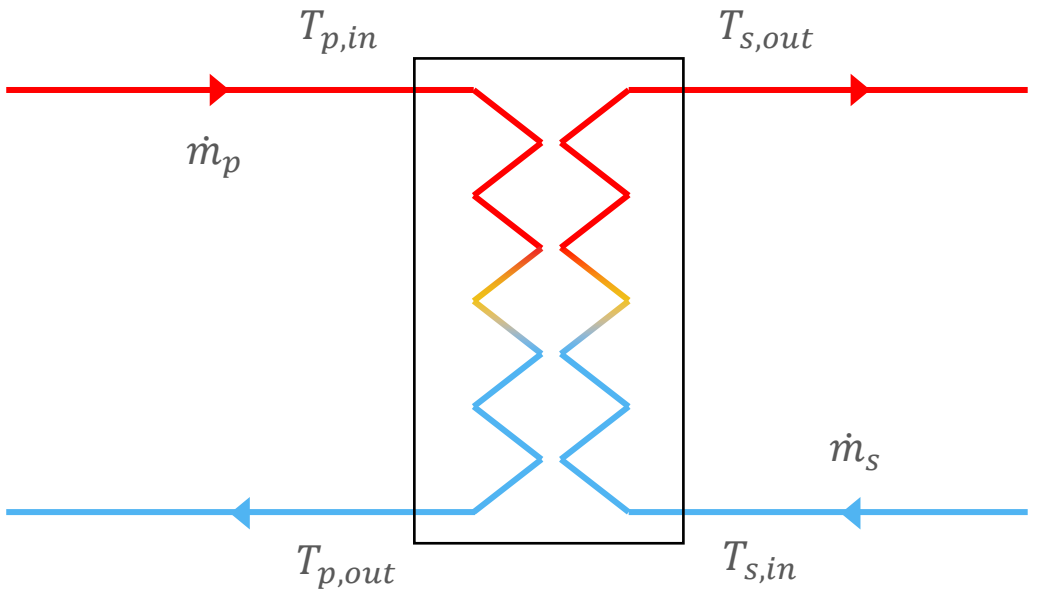
On veut $Pinch = \Delta T_{min} = T_{p,out} - T_{s,in} < 1°C$

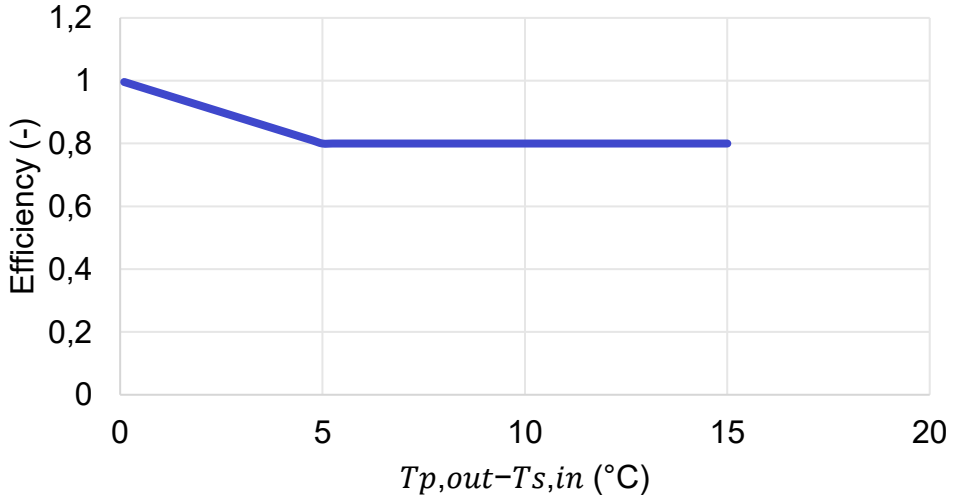
If $T_{p,in} - T_{s,out} > 1\,°C \rightarrow \dot{m}_p < \dot{m}_s \quad for\ P = cst$

2. Composants de la sous-station

Echangeur de chaleur à plaques





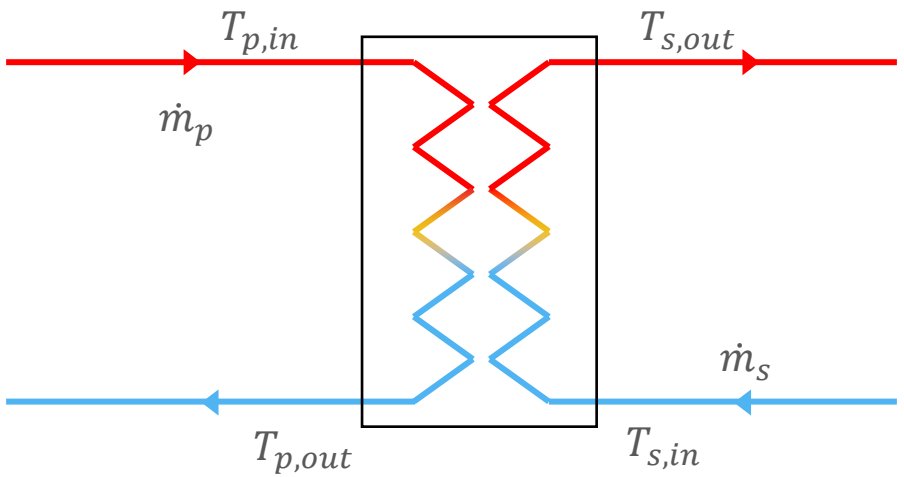


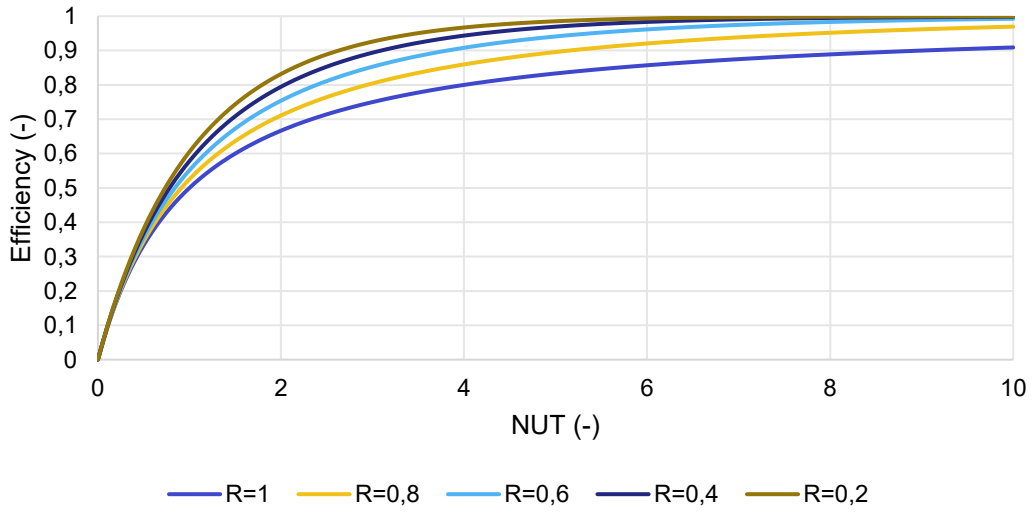
On veut $\dot{m}_p < \dot{m}_s$ pour que le pincement soit à la sortie coté primaire

Et on veut $Pinch = \Delta T_{min} = T_{p,out} - T_{s,in} < 1°C$

Pour $T_{p,in} = 85°C, T_{s,out} = 80°C, T_{s,in} = 60°C$, $\dot{Q} = cst$, $\dot{m}_s = \text{cst}$

2. Composants de la sous-station





$$\dot{Q} = UA\,\Delta TLM = UA\,\frac{T_a - T_b}{\ln(T_a/T_b)}$$

$$T_a = \max\left(T_{p,in} - T_{s,out}; T_{p,out} - T_{s,in}\right)$$

$$T_b = min\left(T_{p,in} - T_{s,out}; T_{p,out} - T_{s,in}\right)$$

$$R = \frac{\min\left(Cp\,\dot{m}_p\,; Cp\,\dot{m}_s\right)}{\max\left(Cp\,\dot{m}_p\,; Cp\,\dot{m}_s\right)} \qquad NUT = \frac{UA}{\min\left(Cp\,\dot{m}_p\,; Cp\,\dot{m}_s\right)}$$

$$E = \frac{1 - \exp((R-1)NUT)}{1 - \mathrm{R}\exp((R-1)NUT}$$

Pour un échangeur à contre courant

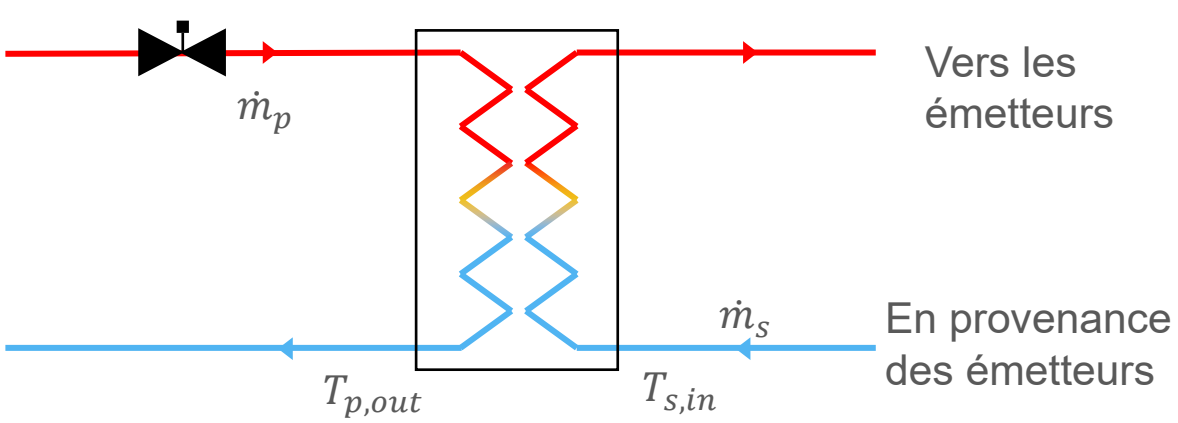
En augmentant la surface de l'échangeur à NUT constant, on réduit le pincement et on augmente ainsi l'efficacité de l'échangeur et du réseau. Cependant, plus l'échangeur est grand, plus il coûte cher.

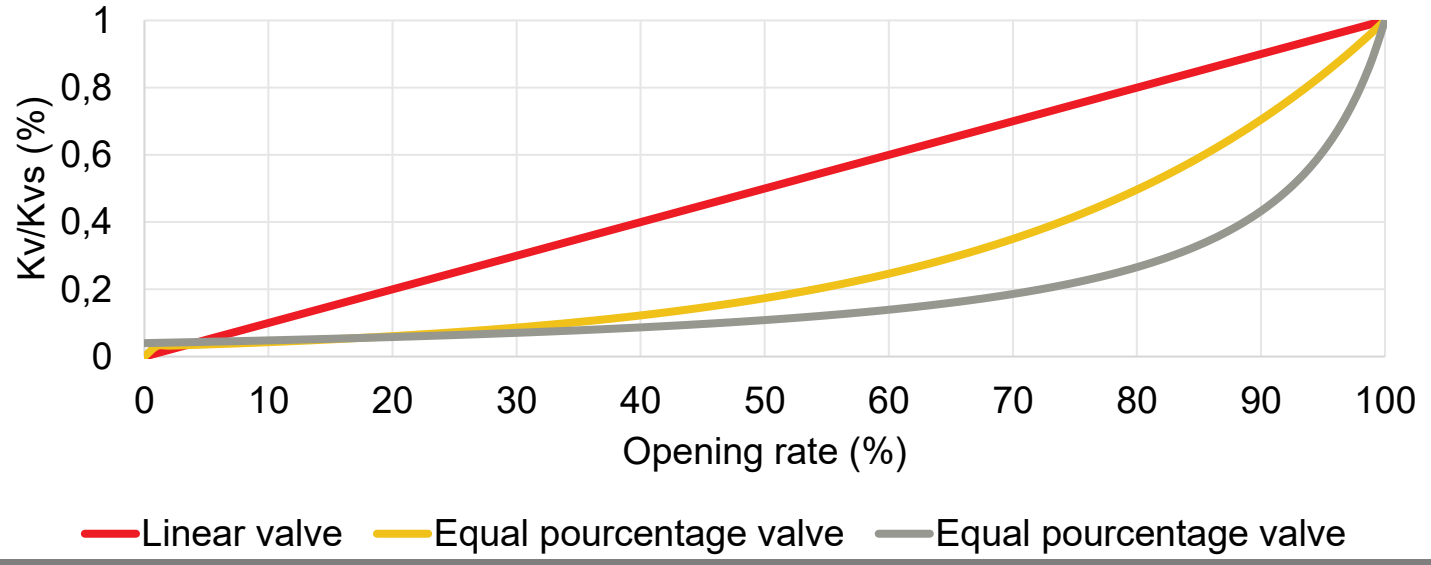
2. Composants de la sous-station

Vannes de régulation



La vanne de régulation permet de contrôler le débit massique côté primaire. Elle doit être associée à un capteur et à un régulateur.



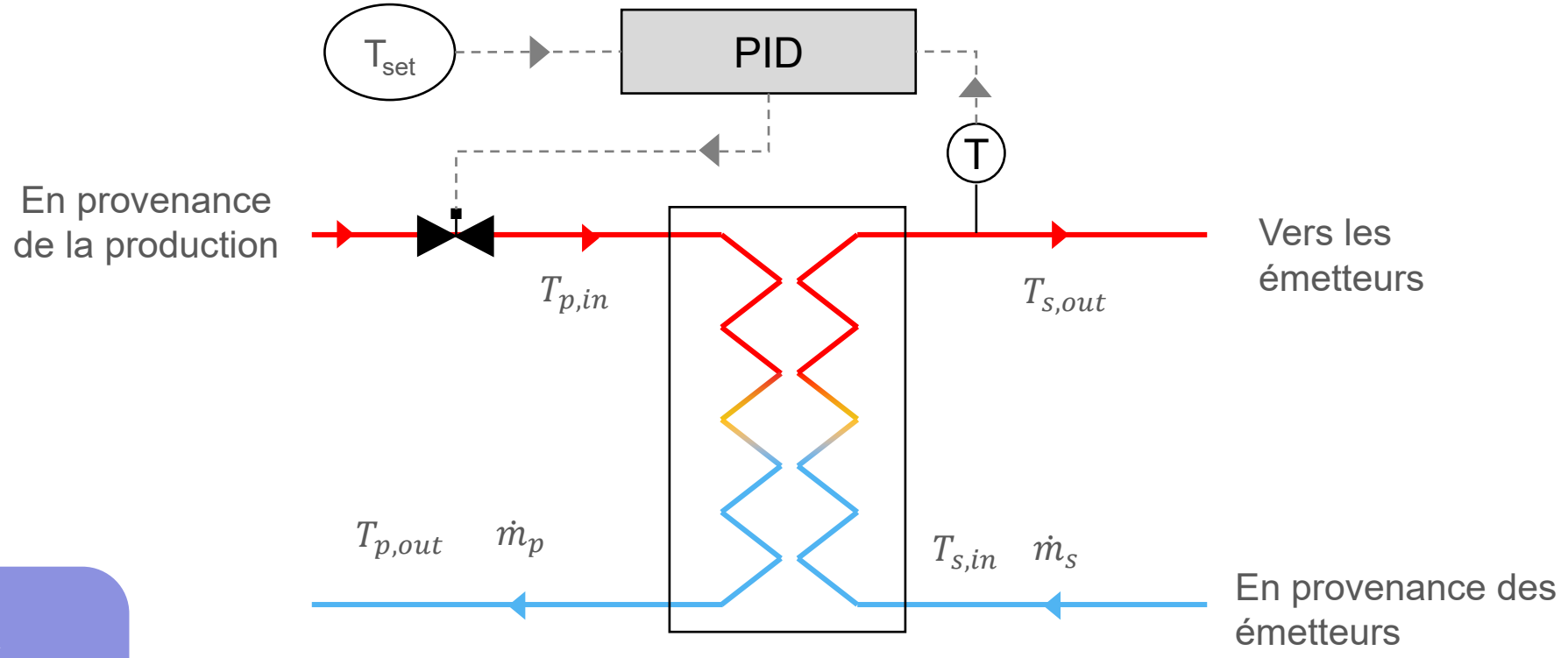


2. Composants de la sous-station

Capteur et contrôleur



Le contrôleur compare la température de consigne à la température mesurée et envoie un signal d'ouverture à la vanne



$$T_{set} = a\,T_{ext} + b \qquad a = \frac{T_{emitters,max} - T_{ext,unheated+}}{T_{ext,min} - T_{ext,unheated}}$$

$$For \quad T_{ext} = T_{ext,min} \Rightarrow T_{set} = T_{emitters,max}$$

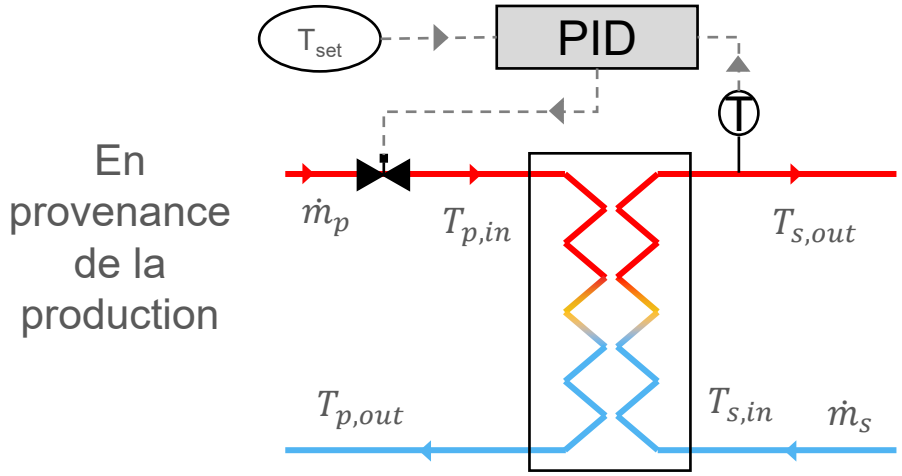
$$For \quad T_{ext} = T_{ext,unheated} \Rightarrow T_{set} = T_{ext,unheated+}$$

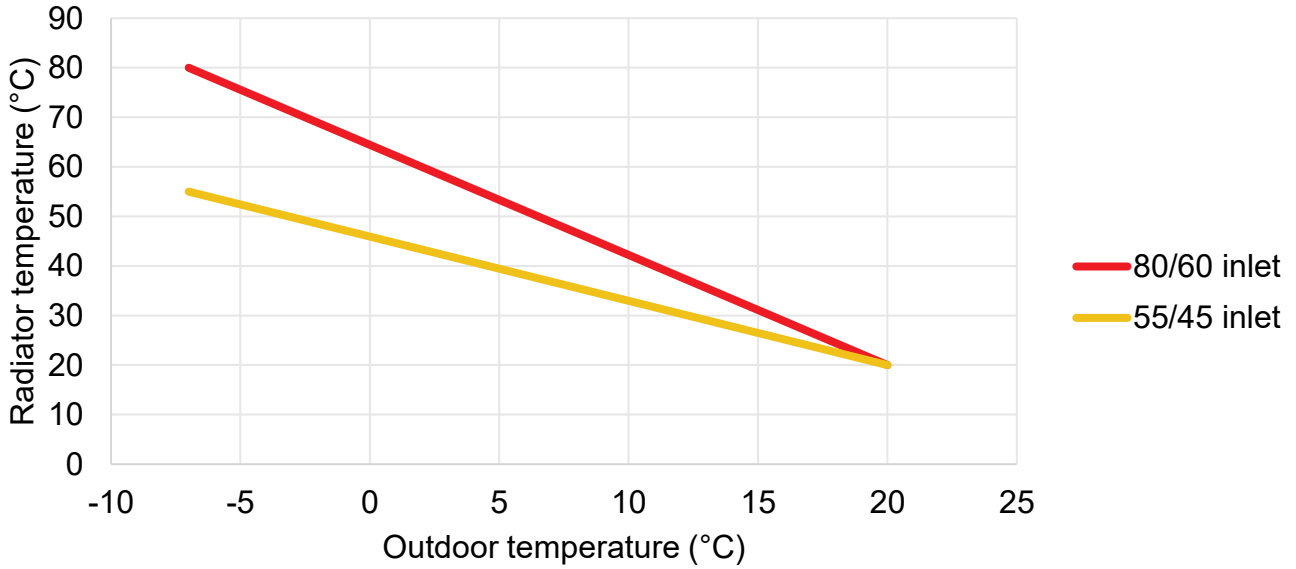
2. Composants de la sous-station

Capteur et contrôleur



Le contrôleur compare la température de consigne à la température mesurée et envoie un signal d'ouverture à la vanne



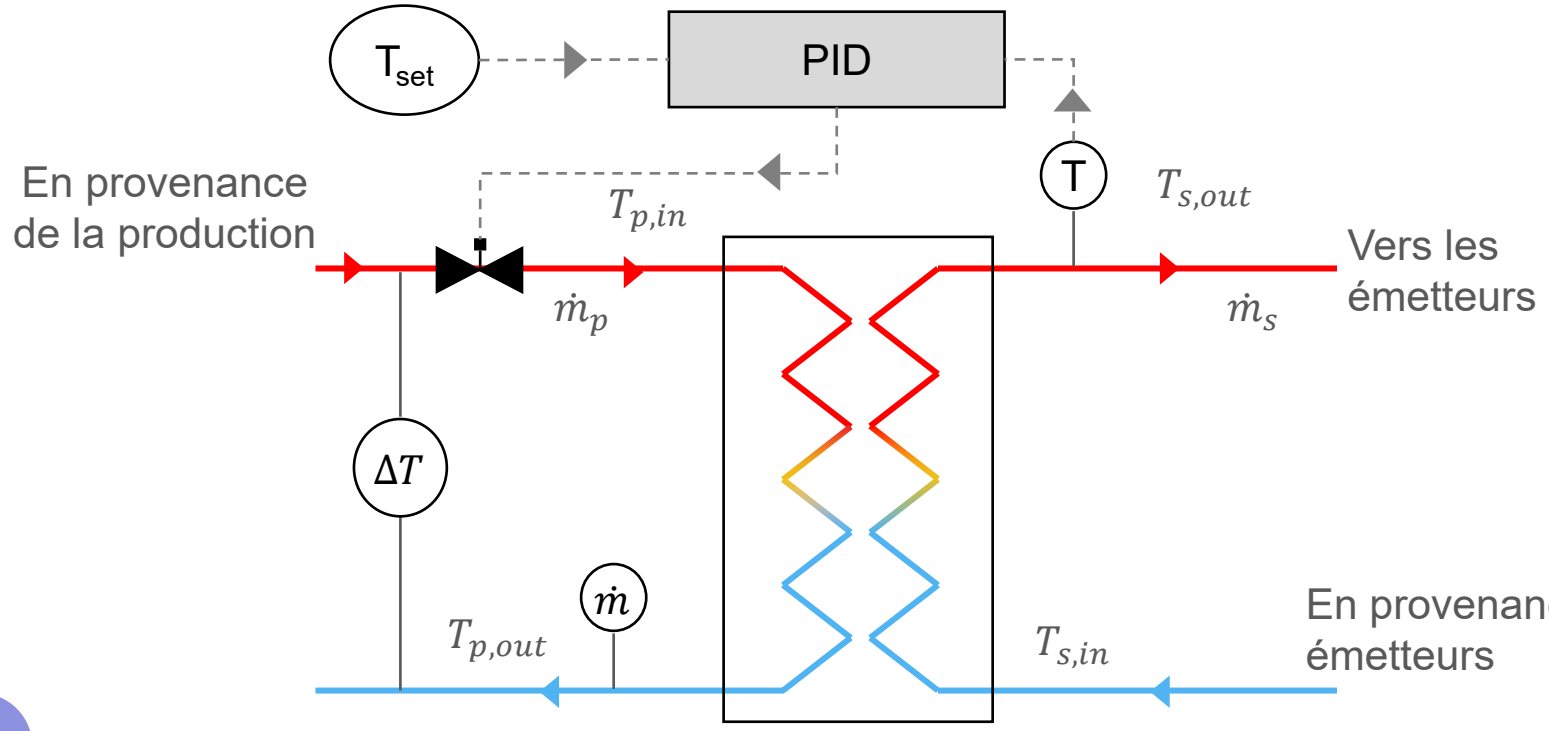


2. Composants de la sous-station

Compteur de chaleur



Le compteur de chaleur mesure les températures aller et retour ainsi que le débit côté primaire afin de calculer l'énergie consommée par le SST.



Incertitudes sur le débit

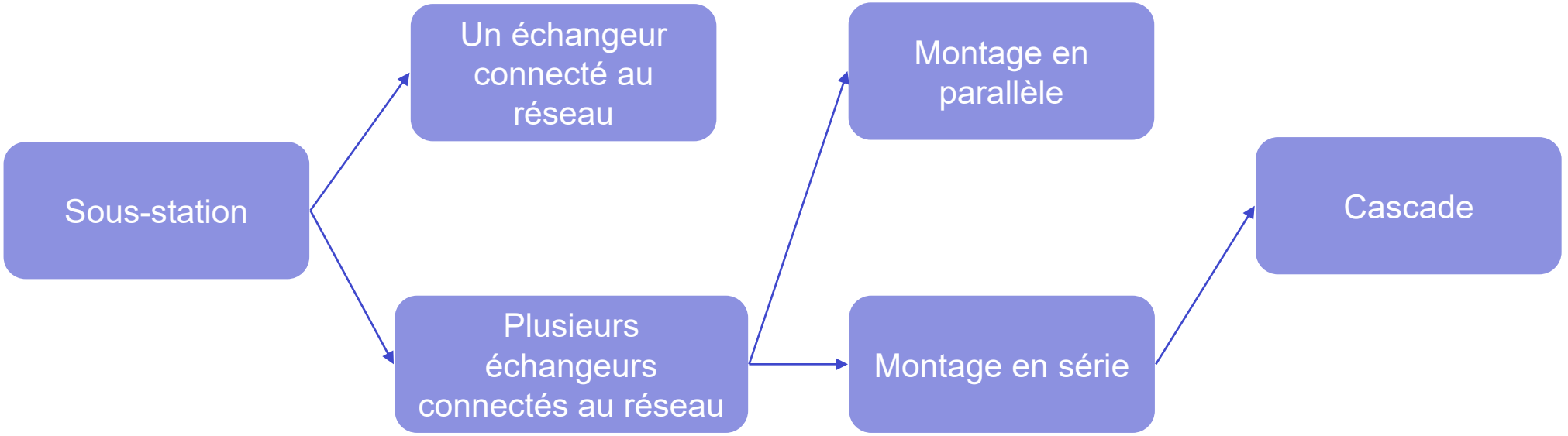
Norme EN 1434 $\quad Q = \int_0^V \rho Cp\, \Delta T\, dV$

$$E_f = \pm \left(2 + 0{,}02\, \frac{q_{max}}{q}\right) \qquad E_t = \pm \left(0{,}5 + 3\, \frac{\Delta T_{min}}{\Delta T}\right)$$

Incertitudes sur la différence de température

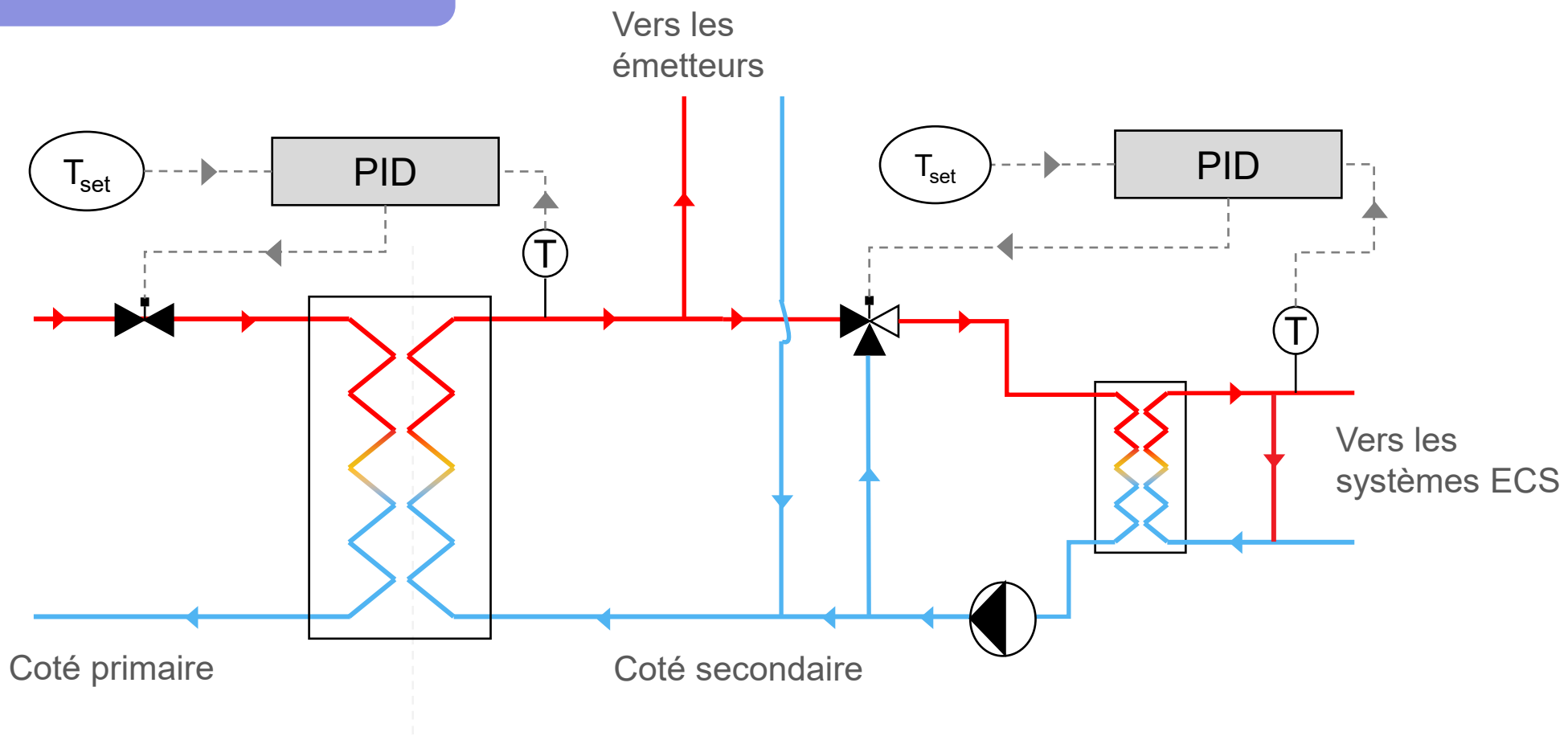
2. Composants de la sous-station



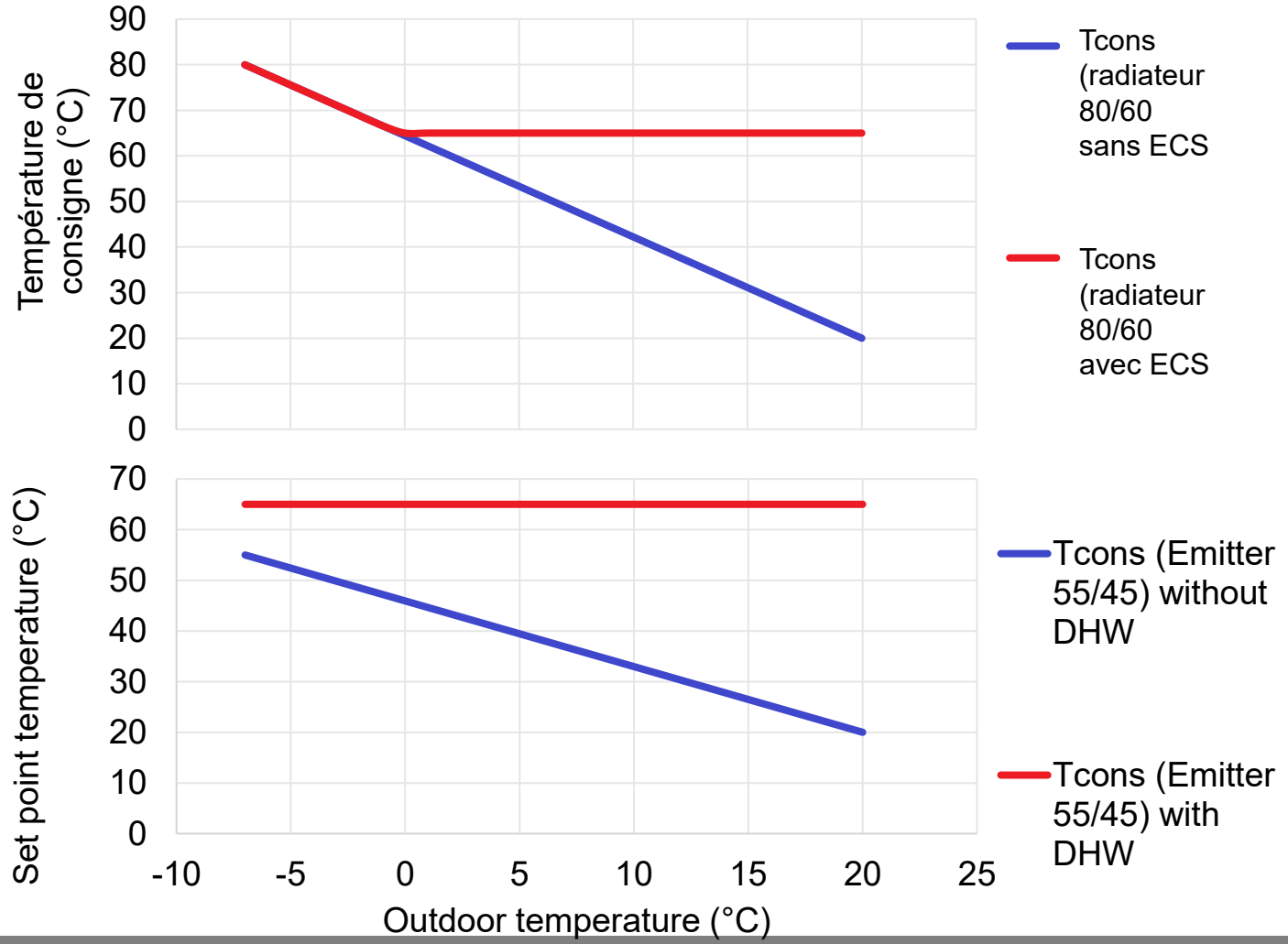


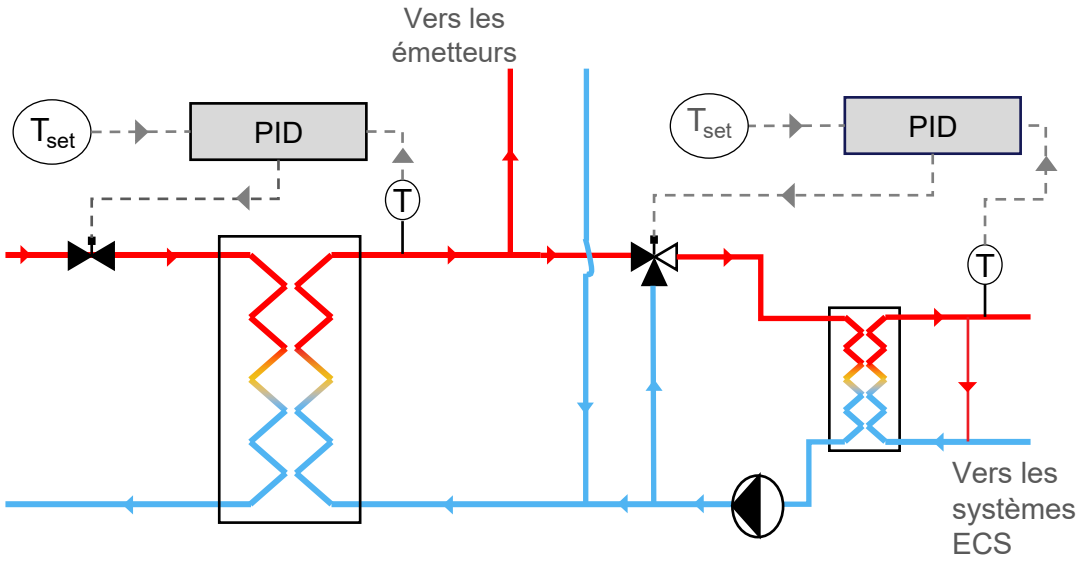
2. Composants de la sous-station

Configuration à un seul échangeur



2. Composants de la sous-station



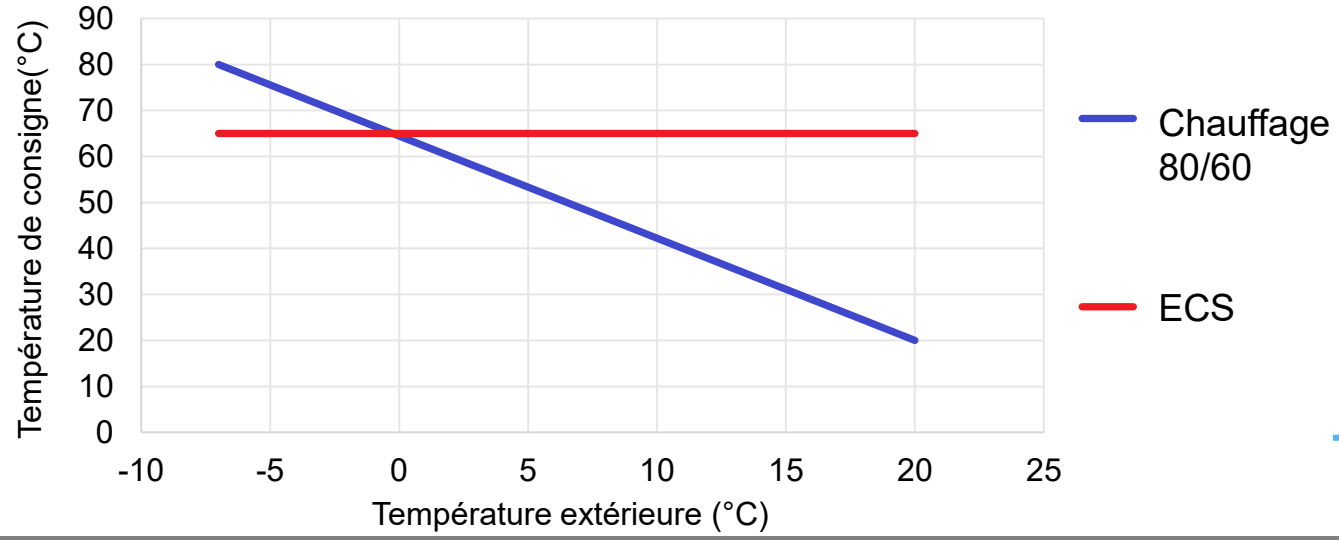


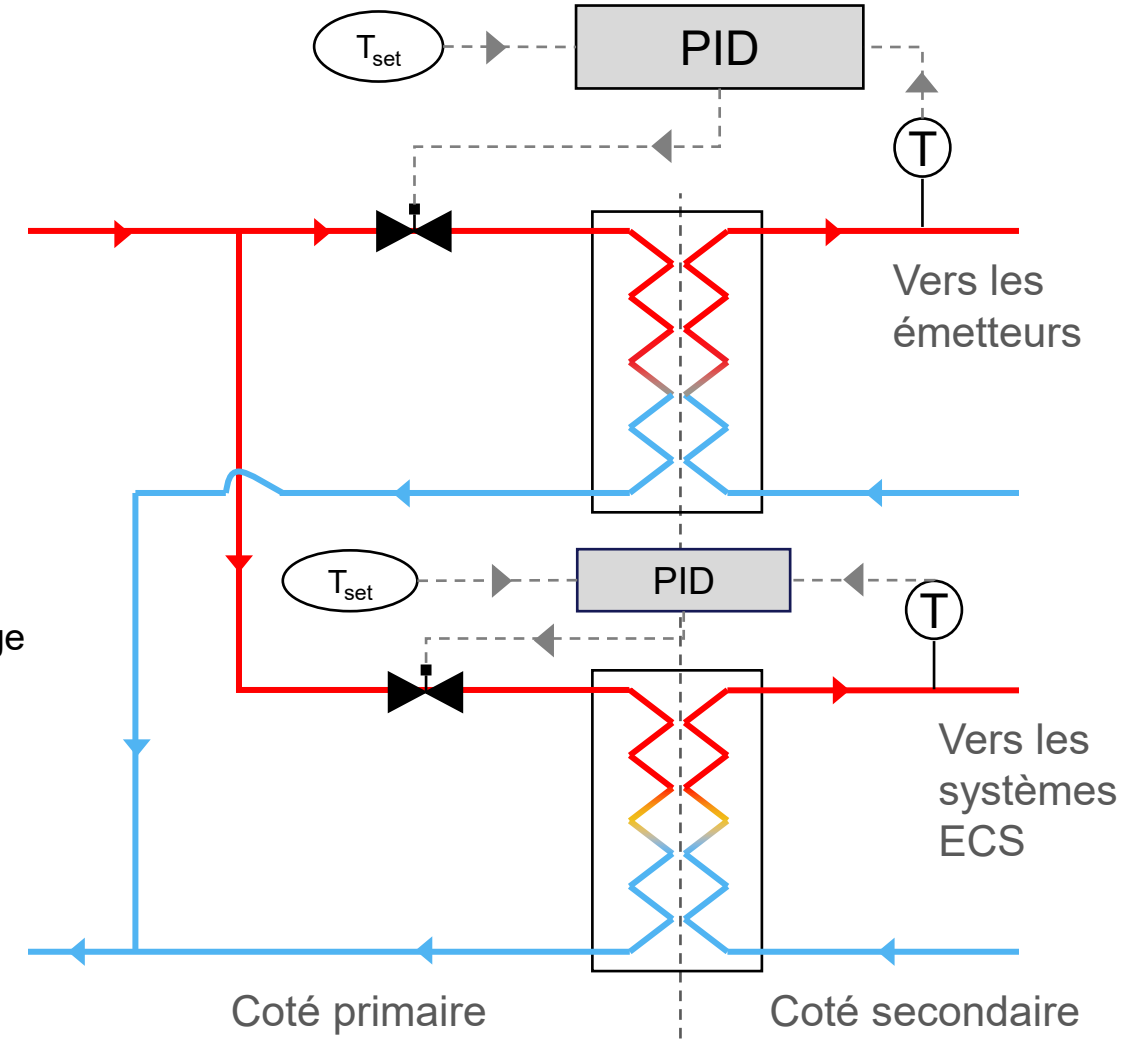
- Un seul échangeur est directement raccordé aux réseaux
- La température de consigne doit être supérieure à 60 °C pour assurer la fourniture d'ECS
- Les températures secondaires aller et retour sont élevées

2. Composants de la sous-station

Configuration parallèle

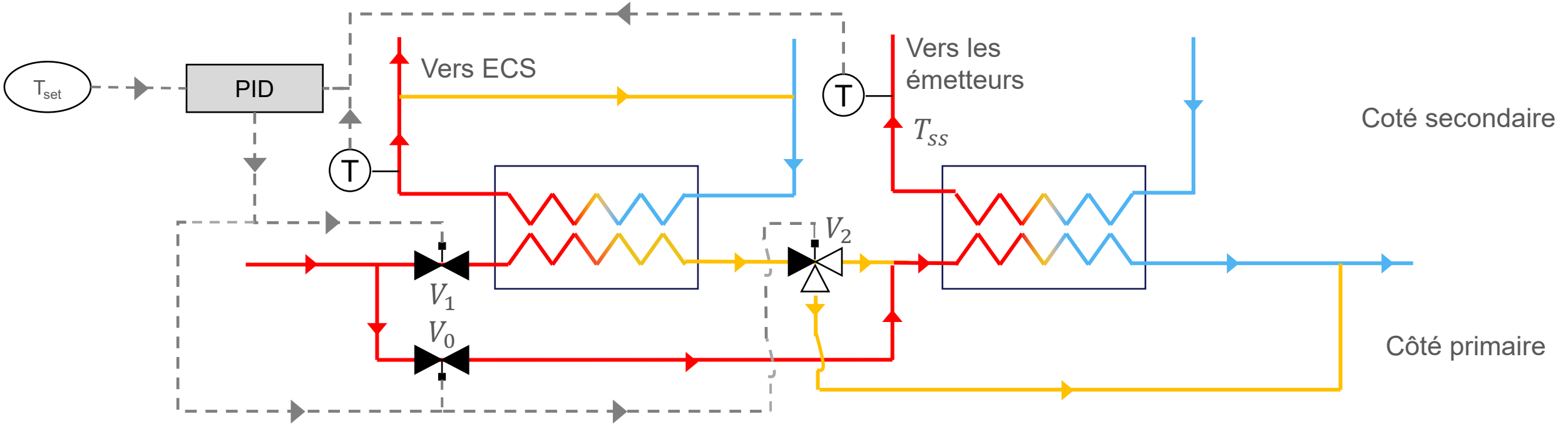
- Deux échangeurs raccordés directement au réseau, l'un pour le chauffage et l'autre pour l'ECS
- La température de consigne doit être supérieure à 60 °C pour fournir de l'ECS
- Simple à piloter et installer





2. Composants de la sous-station

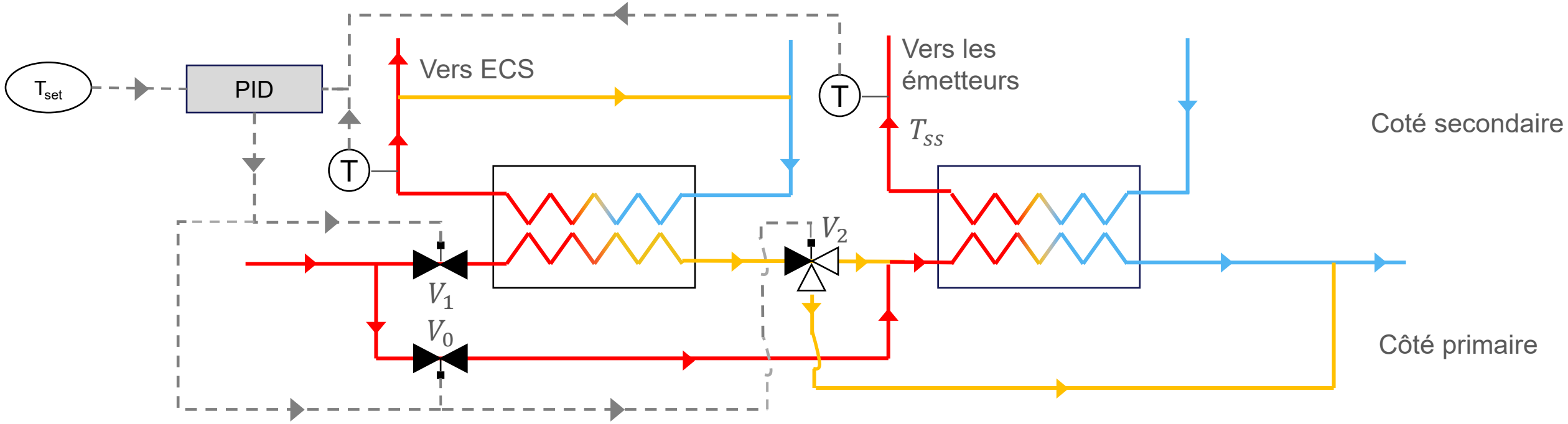
Configuration série



$Si\ T_{ss} < T_{ss,set}\ d'abord\ V_2\ s'ouvre\ après\ V_0\ s'ouvre$ $Si\ T_{ss} > T_{ss,set}\ d'abord\ V_0\ se\ ferme\ après\ V_2\ se\ ferme$

2. Composants de la sous-station

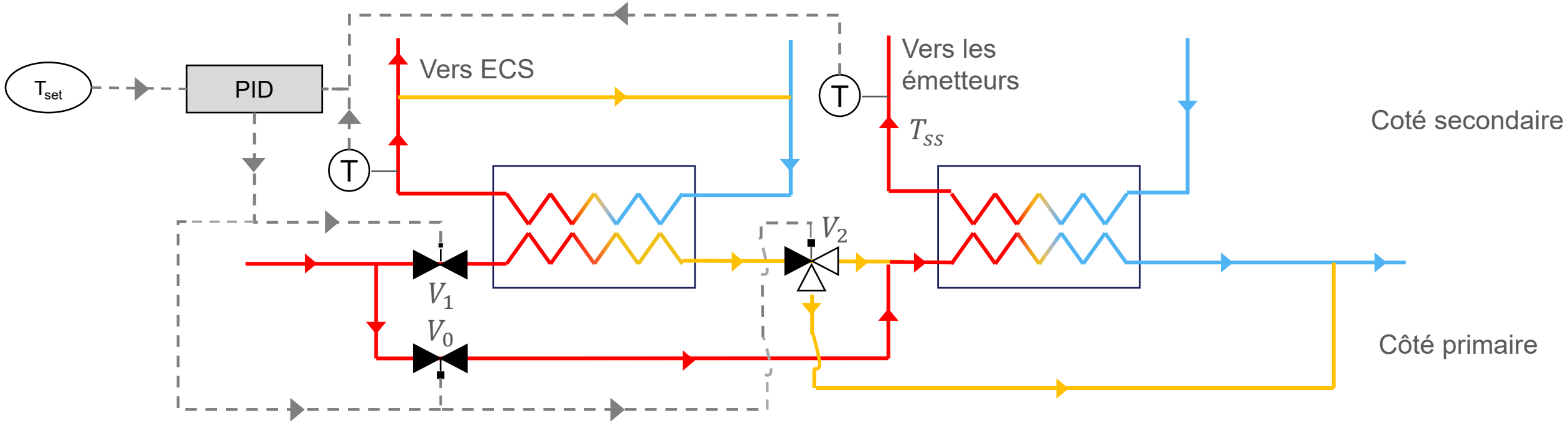
Configuration série



$Si\ T_{ss} < T_{ss,set}\ d'abord\ V_2\ s'ouvre\ après\ V_0\ s'ouvre\ \ Si\ T_{ss} > T_{ss,set}\ d'abord\ V_0\ se\ ferme\ après\ V_2\ se\ ferme$

2. Composants de la sous-station

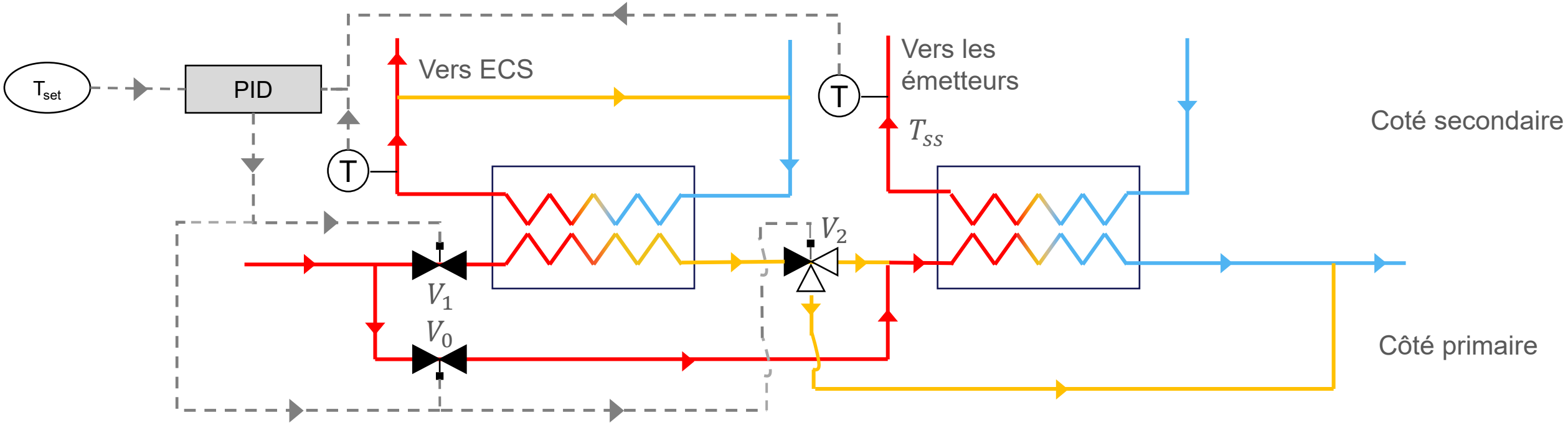
Configuration série



$Si\ T_{ss} < T_{ss,set}\ d'abord\ V_2\ s'ouvre\ après\ V_0\ s'ouvre \quad Si\ T_{ss} > T_{ss,set}\ d'abord\ V_0\ se\ ferme\ après\ V_2\ se\ ferme$

2. Composants de la sous-station

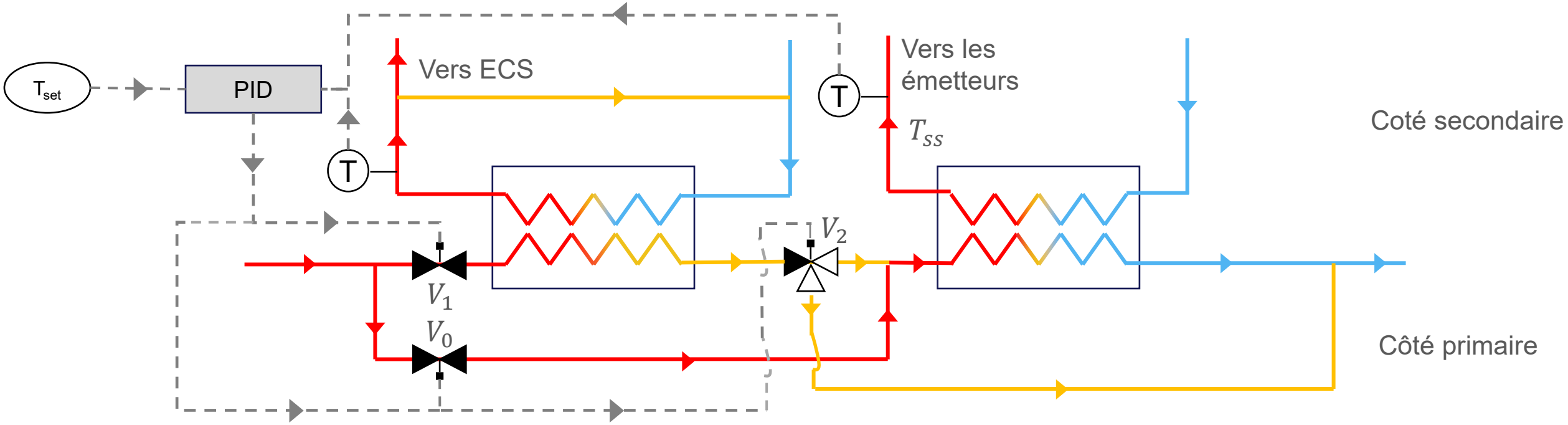
Configuration série



$Si\ T_{ss} < T_{ss,set}\ d'abord\ V_2\ s'ouvre\ après\ V_0\ s'ouvre \quad Si\ T_{ss} > T_{ss,set}\ d'abord\ V_0\ se\ ferme\ après\ V_2\ se ferme$

2. Composants de la sous-station

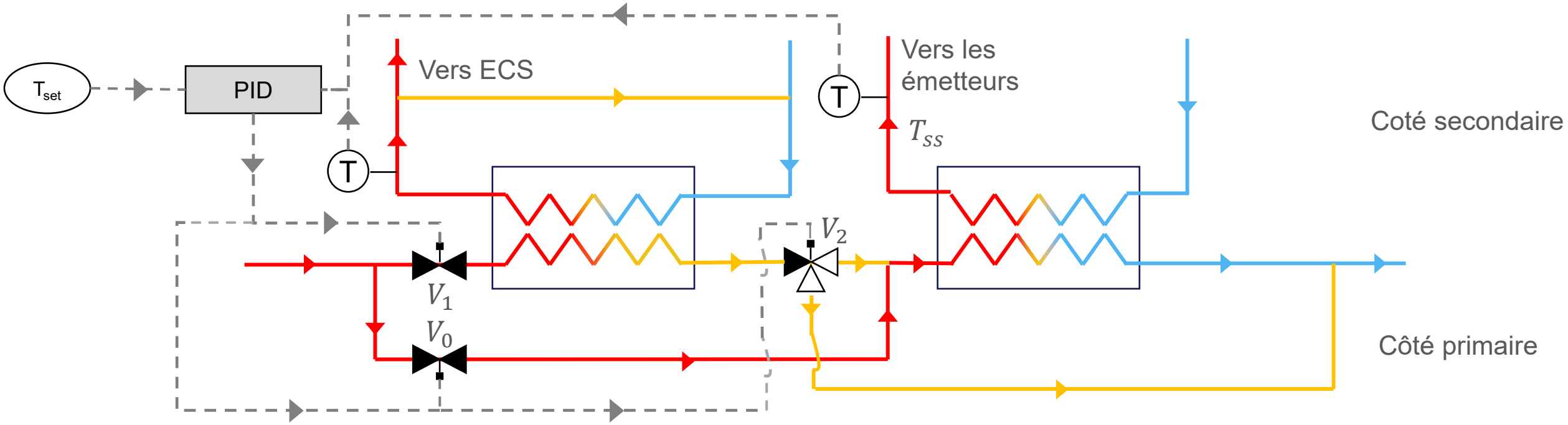
Configuration série



Si il y a uniquement une demande de chauffage → $V_1\ est\ complétement\ fermée \Longrightarrow\ V_0\ s'ouvre$

2. Composants de la sous-station

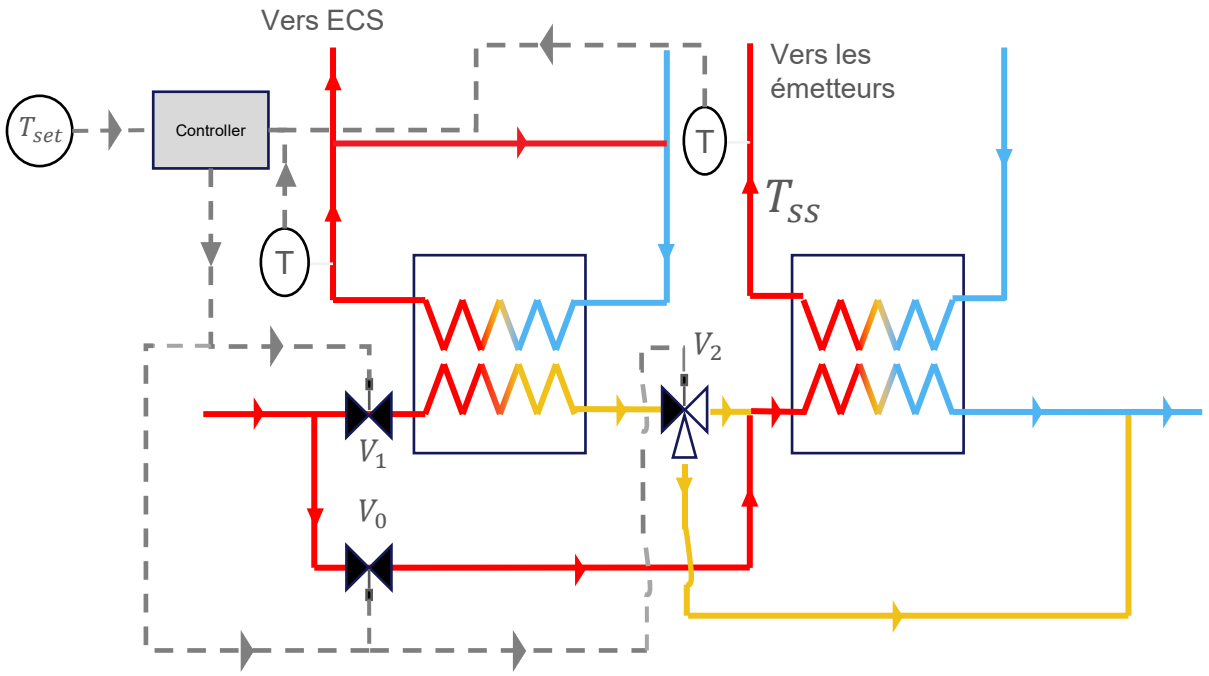
Configuration série



If there is only a DHW demand → V_0 & V_2 *is fully closed* $\Longrightarrow$ V_1 *opens*

2. Composants de la sous-station

Configuration série

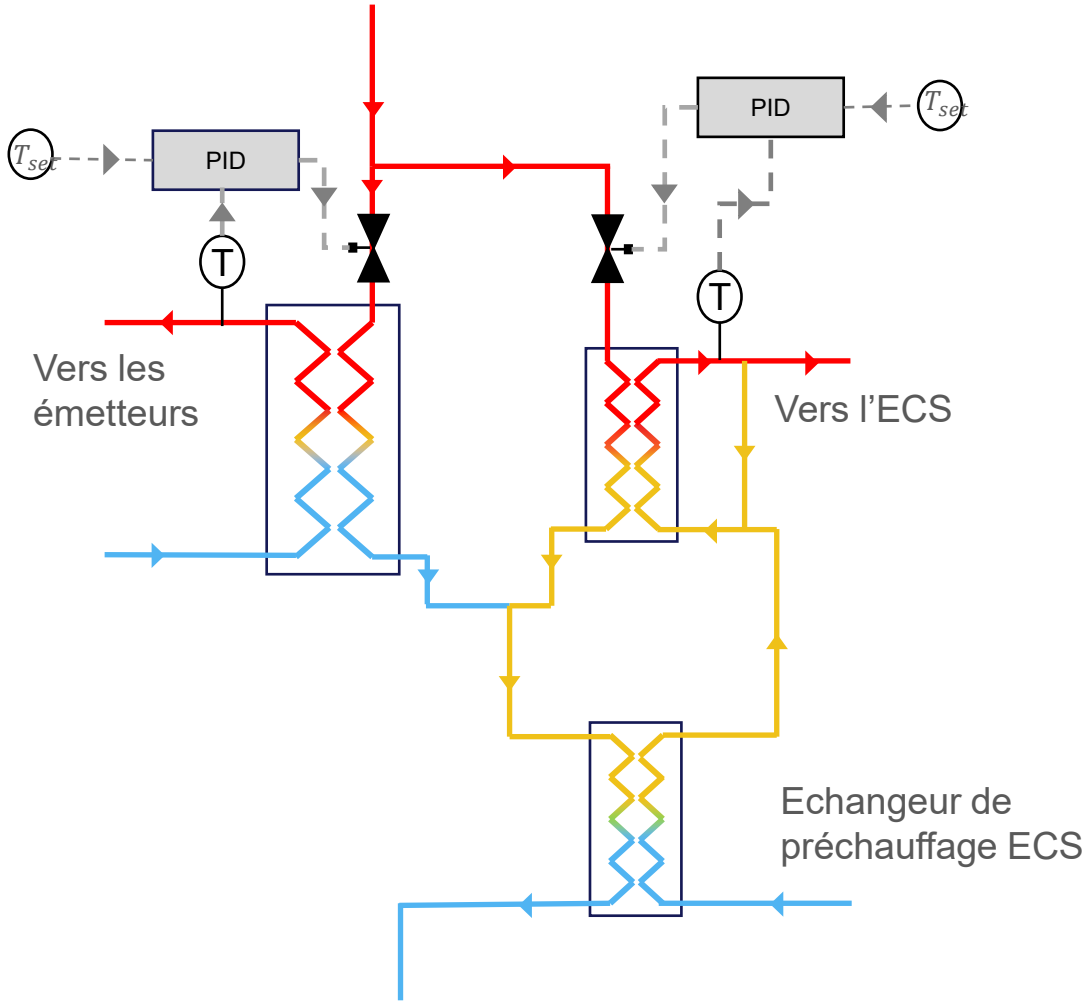


- Deux échangeurs connectés directement au réseau, l'un pour le chauffage et l'autre pour l'ECS
- La température de consigne doit être supérieure à 60 °C pour fournir de l'ECS
- Régulation plus complexe
- Peu courant, principalement utilisé lorsque les émetteurs de chauffage des locaux fonctionnent à basse température (c'est-à-dire 55/45 ou moins)

2. Composants de la sous-station

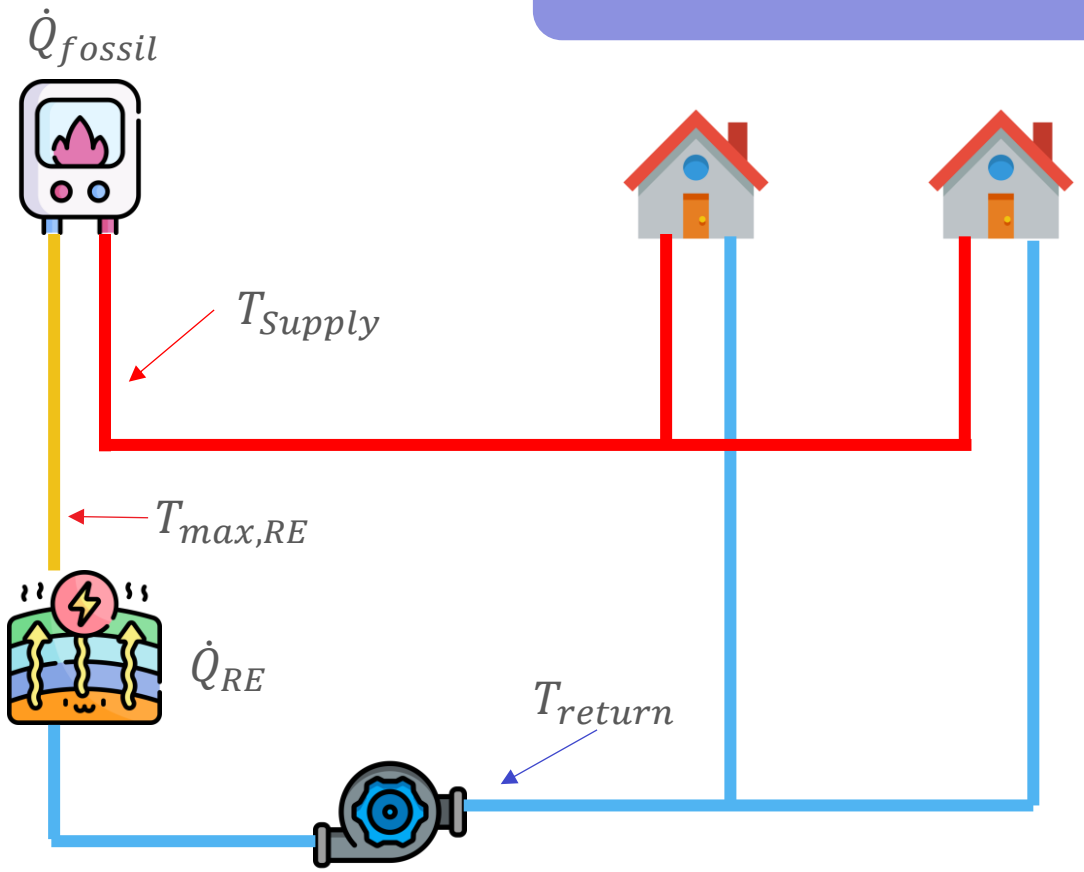
Configuration 2-étages

- Deux échangeurs raccordés directement au réseau, l'un pour le chauffage et l'autre pour l'ECS
- Un troisième échangeur pour le préchauffage de l'ECS à partir du retour primaire des échangeurs chauffage et de l'ECS
- La température de consigne doit être supérieure à 60 °C pour alimenter l'ECS
- Contrôle aisé
- Plus efficace que la configuration en parallèle, mais plus coûteuse.
- La configuration en parallèle est souvent privilégiée



3. Conclusion

Quel est objectif des différentes configurations ?



Réduire la température de retour

$$\dot{Q} = \dot{Q}_{fossil} + \dot{Q}_{RE}$$

$$\dot{Q} = \dot{m}\, Cp \left(T_{Supply} - T_{max,RE} + T_{max,RE} - T_{return}\right)$$

Cela permet de :

- Réduire les pertes thermiques sur le réseau
- Réduire les consommations de pompes
- Augmenter la production de chaleur issue des ENR&R à partir de sources basse température

3. Conclusion

Quel est objectif des différentes configurations ?

Réduire la température de retour

	Performance	Prix	Complexité
1 Echangeur	--	+	0
Parallèle	+	+	+
Serie	-	-	--
Cascade(2 étages)	++	--	-

$$\dot{Q} = \dot{Q}_{fossil} + \dot{Q}_{RE}$$

$$\dot{Q} = \dot{m}\, Cp \left(T_{Supply} - T_{max,RE} + T_{max,RE} - T_{return}\right)$$

Cela permet de :

- Réduire les pertes thermiques sur le réseau
- Réduire les consommations de pompes
- Augmenter la production de chaleur issue des ENR&R à partir de sources basse température

SHaKE
Sharing Knowledge on Energy Communities

CC BY



Merci !

Module 2.5 – Sous-station et régulation

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