

QUELLE EST L'INCIDENCE DU TYPE DE RÉGULATION SUR LES PARAMÈTRES DE L'INSTALLATION ?

Le chauffage à eau chaude en résidentiel avec des MTA offre la possibilité de mettre en œuvre diverses approches de régulation. Généralement, les MTA sont alimentés en eau chaude à une température constante de 65 °C, ce pour assurer tout à la fois la production d'eau chaude sanitaire et le chauffage des logements.

Le chauffage des appartements est assuré par des émetteurs classiques – des radiateurs ou des planchers chauffants – en exploitant l'un des quatre modes de gestion régulation classiques : à efficacité constante ; à débit constant ; avec une température de départ constante ; avec une température déterminée selon une loi d'eau. Détails.

- **À efficacité constante.** La chute de température de l'eau C (en K) ($\theta_d - \theta_r$ dans l'émetteur, en °C) sur l'écart température ΔT_o (en K) ($\theta_d - \theta_a$) est constante; elle est souvent prise à 0,25 pour aboutir à un équipement efficace. En fonction du besoin (ou charge chauffage), la régulation agit sur la température de départ du chauffage ($\theta_{d_{ch}}$) et sur le débit d'eau qui traverse les émetteurs ($Q_{\text{émission}}$, en m³/h).
- **À débit constant.** Le débit d'eau chaude ($Q_{\text{émission}}$) en circulation dans les émetteurs est constant. En fonction du besoin, la régulation agit sur la température de départ chauffage ($\theta_{d_{ch}}$).
- **À température de départ constante.** L'eau chaude qui part vers les émetteurs est à température constante, par exemple 65 °C, et la régulation module le débit d'eau chaude ($Q_{\text{émission}}$) en fonction du besoin.
- **À température avec loi d'eau.** Dans ce cas, la température de départ (θ_d) évolue selon une loi d'eau – du type « A θ_{ext} + B » –, et la régulation détermine la température de départ (θ_d), puis le débit ($Q_{\text{émission}}$).

Pour chaque mode de gestion régulation, il faut équilibrer le bilan thermique de l'appartement. À savoir :

- **la puissance de chauffage :**

$$P_{\text{Ch besoin}} \text{ (en W)}$$

$$= \max (0 ; H (\theta_a - \theta_{ext}) - AGR) ;$$
- **la puissance de chauffage émis :**

$$P_{\text{Ch émis}} \text{ (W)} = P_{50} (\Delta T/50)^n ;$$

- **la puissance de chauffage du fluide :**

$$P_{\text{Ch fluide}} \text{ (W)} = Q c_{\text{eau}} (\theta_d - \theta_r)$$

Avec : H , le coefficient de déperdition de l'appartement, exprimé en W/K ; θ_a , en °C, la température ambiante de consigne, par exemple 20 °C ; θ_{ext} , en °C, la température extérieure du moment (ou extérieure de base θ_{ext} base, par exemple, - 7 °C) ; AGR , en W, les apports gratuits, internes et solaires, récupérés dans le local en fonction de la régulation, du rapport « apports / déperditions » et de l'inertie thermique ; θ_d , en °C, la température de l'eau chaude qui alimente les émetteurs ; θ_r , en °C, la température de l'eau au retour des émetteurs ; C , en K, la chute de température $C = \theta_d - \theta_r$; ΔT , en K, l'écart de température dans l'émetteur, soit : $(\theta_d - \theta_r) / \ln((\theta_d - \theta_a)/(\theta_r - \theta_a))$; ΔT_o , en K, l'écart de température nominale, soit : $\theta_d - \theta_a$; Eff (-), l'efficacité du système de chauffage, selon la formule $C / \Delta T$, généralement pris à 0,25 en dimensionnement initial ; P_{50} , en W, la puissance nominale des émetteurs installés dans l'appartement, en fonction des déperditions et des règles de dimensionnement ; Q , en m³/h, le débit d'eau qui circule dans les émetteurs ; c_{eau} , en Wh/K.m³, soit la valeur de 1163, la chaleur spécifique de l'eau en chauffage ; n (-), le coefficient d'émission, en exposant, des émetteurs, soit 1,25 à 1,30 pour les émetteurs rayonnants ou convectifs, et 1 pour les planchers chauffants.

À chaque moment, c'est-à-dire durant la saison de chauffe et selon le pas de temps choisi, il faut résoudre le système d'équations suivant :

$$P_{\text{Chauffage}} \text{ (W)} = \text{BESOIN} = \text{ÉMISSION} = \text{FLUIDE}$$

Ce qui peut être résumé par quelques expressions mathématiques :

- $P_{\text{Chauffage}} \text{ (W)}$

$$= \max (0 ; H (\theta_a - \theta_{ext}) - AGR) ;$$

$$= P_{50} (\Delta T/50)^n ;$$

$$= Q c_{\text{eau}} (\theta_d - \theta_r).$$

Dans un premier temps, on dimensionne l'équipement dans les conditions de base. Ainsi, pour un logement d'une superficie standard de 65 m² avec une déperdition (H) de 100 W/K et une majoration de puissance émission (majP) de 20 %, le calcul se présente de la manière qui suit.

1 Dimensionnement dans les conditions nominales

Données	Unités	Formules	Valeurs *	
Coefficient H du local ou logement	W/K		100	
Température ambiante de chauffage	°C		20	
Temp. extérieure de base	°C		-7	
Majoration de puissance	%		20 %	
Temp. de départ primaire radiateur	°C		65	
Efficacité du chauffage (Chute / ΔT_o)	-		0,25	
P_{50} par élément de radiateur	W à ΔT 50		70	
Coefficient n d'émission	-		1,30	
Calculs				
Pmax chauffage (conditions de base)	W	$H \times (\theta_{\text{ambiante}} - \theta_{\text{ext base}}) \times (1 + \text{maj P})$	3 240	
$\Delta T_o = \theta_{\text{départ}} - \theta_{\text{ambiante}}$	K	$\theta_{\text{départ}} - \theta_{\text{ambiante}}$	45,0	
$C = \text{Chute} = \theta_{\text{départ}} - \theta_{\text{retour}}$	K	$\Delta T_o \times \text{Eff}$	11,3	
$\Delta T = \theta_{\text{émetteur}} - \theta_{\text{ambiante}}$	K	$\Delta T_o \times -\text{Eff} / \ln(1 - \text{Eff})$	39,1	
P_{50} à ΔT de fonctionnement	W50	$P (\Delta T / 50)^{-n}$	4 460	
P / élément à ΔT fonctionnement	W à ΔT	$P_{50} / \text{Élément} \times (\Delta T / 50)^n$	50,9	
Nombre d'éléments de radiateur	-	Arrondi ($P_{\text{max}} / P_{\Delta T} / \text{Élément} ; 0$)	64	
P_{50} réelle des radiateurs	W à ΔT 50	$P_{50} / \text{Élément} \times \text{Nbre d'Éléments}$	4 480	
Débit de chauffage radiateurs	m ³ /h	$P_{\text{max}} / (1163 \times \text{Chute})$	0,248	
Température retour (θ_r) des radiateurs	°C	$\theta_{\text{départ}} - \text{Chute}$	53,8	

* Le lecteur effectue ses calculs dans la colonne de droite. Saisir les données dans les cellules à fond blanc ; les résultats s'affichent dans celles à fond jaune.

Puis, en fonction du mode de régulation, la gestion des conditions de fonctionnement du système est traitée de la manière suivante, le besoin de chauffage est calculé. Dans le cas développé, on retient une température extérieure de 5 °C ainsi que 500 W d'apports gratuits et récupérés (AGR).

2 Le besoin de chauffage du moment

Données	Unités	Formules	Valeurs **	
Température extérieure (θ_{ext}) du moment	°C		5	
Temp. ambiante ($\theta_{\text{amb.}}$) de consigne	°C		20	
Apports gratuits récupérés (AGR)	W		500	
Calculs				
Dépense	W	$\text{Max}(0 ; H \times (\theta_{\text{ambiante}} - \theta_{\text{ext base}}))$	1500	
Besoin de chauffage	W	$\text{Max}(0 ; \text{Dépense} - \text{AGR})$	1000	

** Dans la suite de cette annexe, l'affichage de certaines données, de même que certains calculs exécutés en mode dynamique, sont dépendants de données saisies et de calculs effectués dans les tableaux des paragraphes 1 et 2. Renseignez tous les champs en y appliquant vos consignes.

Les calculs en fonction des différents modes de régulation pour la gestion du confort peuvent maintenant être développés.

3 Fonctionnement à efficacité constante

Données	Unités	Formules	Valeurs	
Température de départ (θ_d) primaire	°C	Donnée extraite du tableau n° 1	65	
Température ambiante ($\theta_{amb.}$)	°C	Donnée extraite du tableau n° 2	20	
Puissance de chauffage (Pch) du moment	W	Donnée extraite du tableau n° 2	1000	
Coefficient n d'émission des émetteurs	-	Donnée extraite du tableau n° 1	1,30	
P_{50}	W	Donnée extraite du tableau n° 1	4 480	
• Efficacité (Eff.) nominale souhaitée	-	Donnée extraite du tableau n° 1	0,25	
Calculs				
Écart de température dans l'émetteur (ΔT)	K	$50 \times (Pch / P_{50})^{1/n}$	15,8	
Écart de température nominal (ΔT_o)	K	$\Delta T \times \ln(1-Eff) / -Eff$	18,2	
Température de départ radiateur (θ_d rad)	°C	$\Delta T_o + \theta_{ambiante}$	38,2	
Chute de température (C)	K	$\Delta T_o \times Eff$	4,5	
Température de retour radiateur (θ_r rad)	°C	θ_d rad - C	33,6	
Débit radiateur (Q rad.)	m ³ /h	$Pch / (1163 \times C)$	0,189	
Débit primaire (Q prim.)	m ³ /h	$Pch / (1163 \times (\theta_d \text{ prim} - \theta_r \text{ rad}))$	0,027	

4 Fonctionnement à débit constant

Données	Unités	Formules	Valeurs	
Température de départ (θ_d prim) primaire	°C	Donnée extraite du tableau n° 1	65	
Température ambiante (θ_{amb})	°C	Donnée extraite du tableau n° 2	20	
Puissance de chauffage (Pch) du moment	W	Donnée extraite du tableau n° 2	1000	
Coefficient n d'émission des émetteurs	-	Donnée extraite du tableau n° 1	1,30	
P_{50}	W	Donnée extraite du tableau n° 1	4 480	
• Débit (Q) d'eau dans les radiateurs	m ³ /h	Donnée extraite du tableau n° 1	0,250	
Calculs				
$\Delta T = \theta_{émetteur} - \theta_{ambiante}$	K	$50 \times (Pch / P_{50})^{1/n}$	15,8	
C = Chute	K	$Pch / (1163 \times Q \text{ rad})$	3,4	
$a = \exp(C/\Delta T)$	-	$\exp(C / \Delta T)$	1,24	
$\Delta T_o = \theta_{départ} - \theta_{ambiante}$	-	$a \times C / (a - 1)$	17,6	
Efficacité obtenue	-	$C / \Delta T_o$	0,20	
Température de départ radiateur (θ_d rad)	°C	$\theta_a + \Delta T_o$	37,6	
Température de retour radiateur (θ_r rad)	°C	θ_d rad - C	34,1	
Débit primaire (Q prim.)	m ³ /h	$Pch / (1163 \times (\theta_d \text{ prim} - \theta_r \text{ rad}))$	0,028	

5 Fonctionnement à température de départ (Θ_d) constante

Données	Unités	Formules	Valeurs	
Température de départ (Θ_d) primaire	°C	Donnée extraite du tableau n° 1	65	
Température ambiante ($\Theta_{amb.}$)	°C	Donnée extraite du tableau n° 2	20	
Puissance de chauffage (Pch) du moment	W	Donnée extraite du tableau n° 1	1000	
Coefficient n d'émission des émetteurs	-	Donnée extraite du tableau n° 1	1,30	
P_{50}	W	Donnée extraite du tableau n° 1	4 480	
Calculs				
Écart de température nominal (ΔT_o)	K	$\Theta_d \text{ prim} - \Theta_{amb}$	45,0	
Coefficient A	-	$(\Delta T_o / 50) \times (P_{50} / Pch)^{1/n}$	2,85	
Coefficient B	-	$-1,683 - (A/3,013) + (A/9,153)^2$	-2,53	
Efficacité estimée	-	Si $A^B > 1$, alors 1 ; sinon Eff. estimée = $1 - A^B$	0,93	
Chute de température (C)	K	$\Delta T_o \times \text{Eff estimée}$	41,8	
Température de retour radiateur ($\Theta_r \text{ rad}$)	°C	$\Theta_d \text{ prim} - C$	23,2	
Débit radiateur (Q rad.)	m ³ /h	$Pch / (1163 \times C)$	0,021	
Écart de température dans l'émetteur (ΔT)	K	$50 \times (Pch / P_{50})^{1/n}$	15,8	
Efficacité - Contrôle	-	$(\Theta_d \text{ rad} - \Theta_r \text{ rad}) / (\Theta_d \text{ prim} - \Theta_{amb})$	0,93	
Débit primaire (Q prim.) - Contrôle	m ³ /h	$Pch / (1163 \times (\Theta_d \text{ prim} - \Theta_r \text{ rad}))$	0,021	

6 Fonctionnement selon une loi d'eau, où $\Theta_d = A \Theta_{ext} + B$

Calcul des coefficients A et B

Températures extérieures		Températures de départ		Coefficient A	
-7 °C		65 °C		-1,48	
20 °C		25 °C		Coefficient B	
27 K		-40 K		54,63	

Données	Unités	Formules	Valeurs	
Coefficient A « loi d'eau »			-1,48	
Coefficient B « loi d'eau »	°C		54,63	
Température extérieur du moment	°C	Donnée extraite du tableau n° 2	5	
Température de départ ($\Theta_d \text{ prim}$) primaire	°C	$A \times \Theta_{extérieur} + B$	47,2	
Température ambiante (Θ_{amb})	°C	Donnée extraite du tableau n° 2	20	
Puissance de chauffage (Pch) du moment	W	Donnée extraite du tableau n° 2	1000	
Coefficient n d'émission des émetteurs	-	Donnée extraite du tableau n° 1	1,30	
P_{50} réelle des radiateurs	W	Donnée extraite du tableau n° 1	4 480	
Calculs				
Écart de température nominal (ΔT_o)	K	$\Theta_d \text{ départ primaire} - \Theta_{ambiante}$	27,2	
Coefficient A	-	$(\Delta T_o / 50) \times (P_{50} / Pch)^{1/n}$	1,73	
Coefficient B	-	$-1,683 - (A/3,013) + (A/9,153)^2$	-2,22	
Efficacité estimée	-	Si $A^B > 1$, alors 1 ; sinon Eff. estimée = $1 - A^B$	0,70	
Chute de température (C)	K	$\Delta T_o \times \text{Eff. estimée}$	19,1	
Température de retour radiateur ($\Theta_r \text{ rad}$)	°C	$\Theta_d \text{ prim} - C$	28,1	
Débit radiateur (Q rad.)	m ³ /h	$Pch / (1163 \times C)$	0,045	
Écart de température dans l'émetteur (ΔT)	K	$50 \times (Pch / P_{50})^{1/n}$	15,8	
Efficacité - Contrôle	-	$(\Theta_d \text{ rad} - \Theta_r \text{ rad}) / (\Theta_d \text{ prim} - \Theta_{amb})$	0,70	
Débit primaire (Q prim.) - Contrôle	m ³ /h	$Pch / (1163 \times (\Theta_d \text{ prim} - \Theta_r \text{ rad}))$	0,045	

Quelle mode de gestion du chauffage et de l'ECS des MTA retenir ?

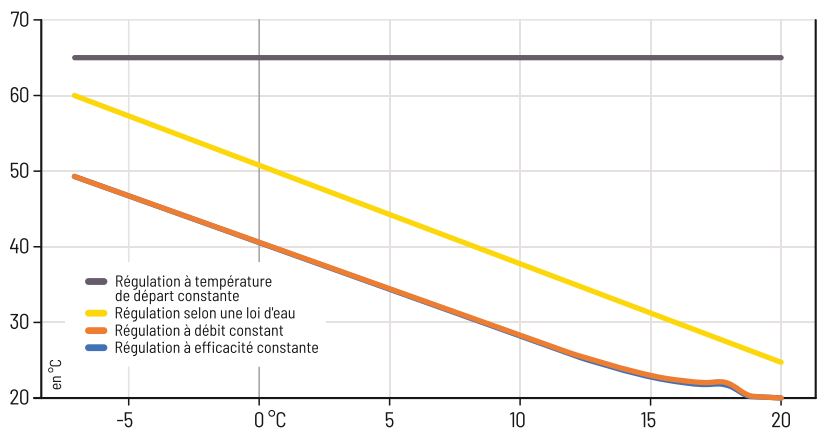
Après avoir sélectionné le mode de gestion chauffage – essentiellement sur la base de l'histogramme des températures extérieures, des besoins chauffage et ECS pour chaque niveau de température extérieure –, on peut alors passer à la phase de calcul des débits primaires et secondaires, des températures de fonctionnement des MTA, du réseau primaire ainsi que du niveau de puissance à

générer (cf. *Chapitre 3*). On procède aussi au calcul des besoins de chauffage et d'ECS, puis des différentes pertes de gestion: du module MTA (en fonction de son isolation) et de la distribution collective (en fonction du débit et des niveaux de températures aller et retour).

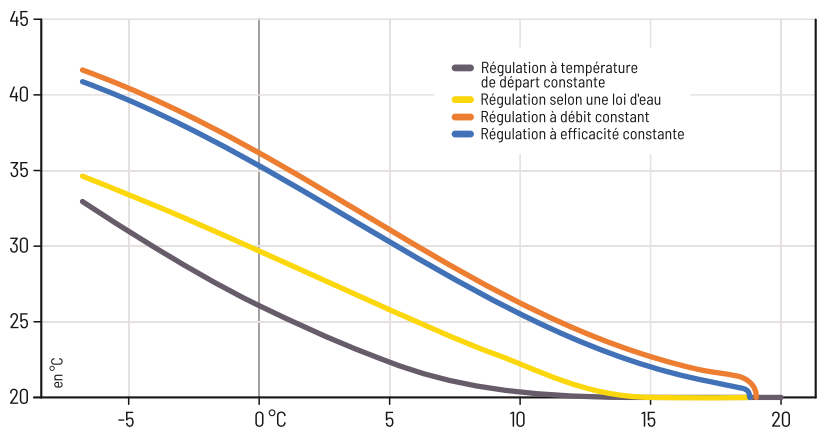
Selon le mode de gestion de chauffage retenu, le fonctionnement selon les températures du moment (de -7 à +20 °C) peut être résumé par ces **courbes types** du chauffage d'un logement.

5

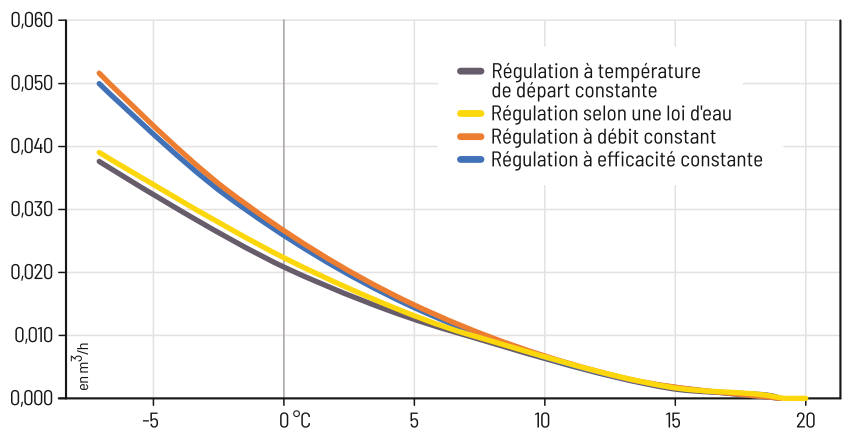
1. Évolution de la température de départ de l'émission de de chauffage selon le mode de régulation choisi.



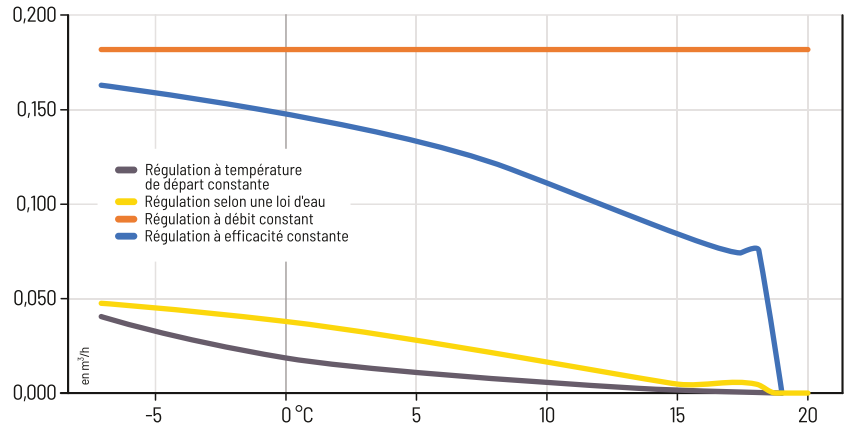
2. Évolution de la température de retour d'émission et du primaire du chauffage selon le mode de régulation choisi.



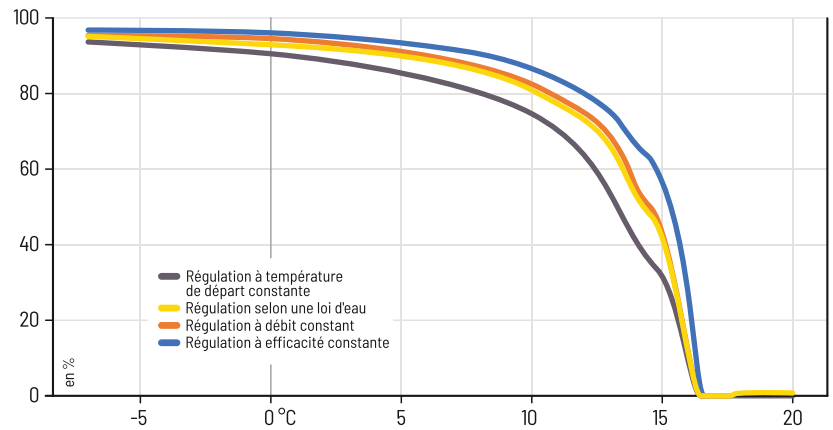
3. Variation du débit primaire (en m³/h) selon la régulation retenue.



4. Variation du débit d'émission (en m³/h) selon la régulation retenue.

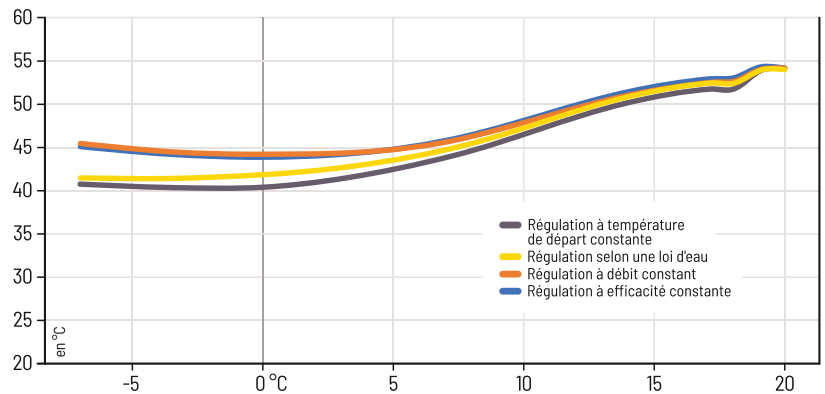


5. Rendement d'émission de chauffage (en %) selon la régulation retenue.

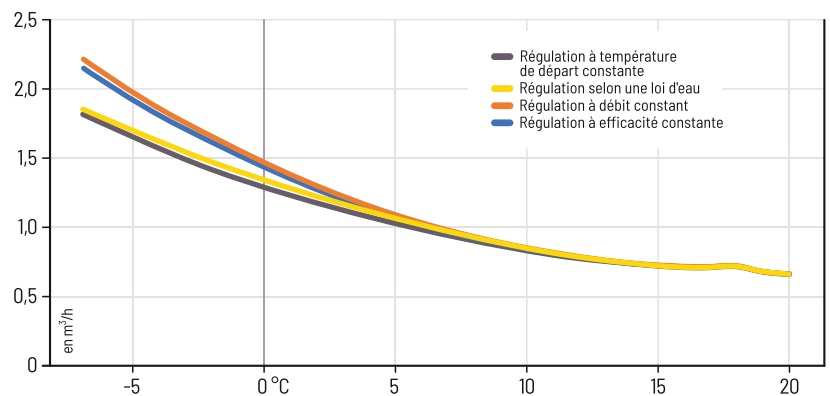


Bilan global. Les figures suivantes permettent de comparer les différentes options pour un bâtiment de trente logements ; à noter que cet ensemble est doté d'un réseau primaire avec un débit de bouclage de 0,5 m³/h.

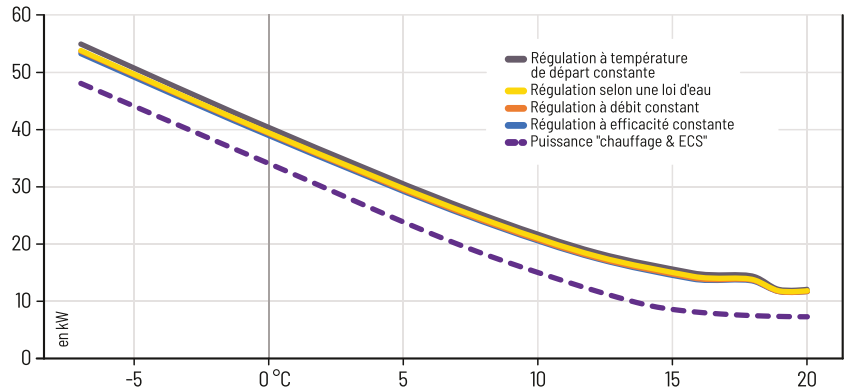
6. Température de retour du ballon tampon selon le type de régulation.



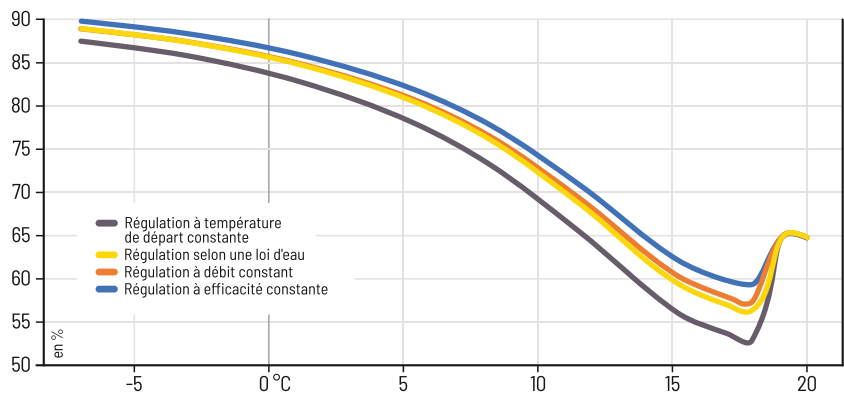
7. Débit de retour au tampon selon le type de régulation.



8. Puissance cumulée « chauffage & ECS » en fonction de la régulation.



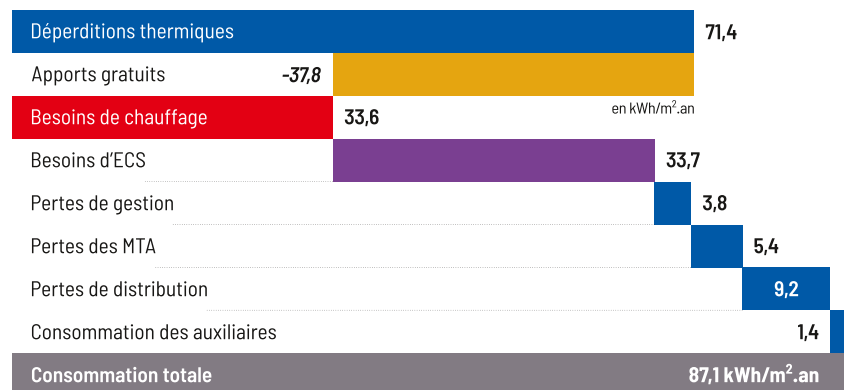
9. Rendement global en fonction de la régulation.



Enfin, un diagramme *en cascade* met en évidence le poids des différents postes : ressources, besoins, pertes et consommations marginales.

10. Exemple de bilan : MTA gérés par une régulation à efficacité constante.

Cette présentation permet d'apprécier les consommations et de les convertir en énergies finale et primaire. Les gestionnaires utiliseront ces données pour déterminer les rejets de CO₂ et le coût d'exploitation des solutions.



En conclusion... La régulation du chauffage retenue parmi les quatre décrites impacte la température d'alimentation des émetteurs et le débit d'eau du circuit chauffage en fonction de la charge thermique. Les paramètres étudiés – efficacité ($Eff > 0.25$) ; bande proportionnelle ($BP \leq 2 K$) ; régulateurs terminaux ; et autorité hydraulique nominale (> 0.3) – sont gages de la stabilité de fonctionnement de l'installation. Ainsi, plus la température d'alimentation des émetteurs est proche du besoin, mieux c'est ! En y associant les besoins d'ECS – importants en puissance mais ponctuels, environ 30 min. par jour et appartement –, on peut estimer le débit et la température de retour du primaire. Cependant, le débit de bouclage pour maintenir les MTA et le réseau en température impacte sensiblement la température

de retour primaire et le rendement global de l'installation. La bonne isolation thermique des MTA comme celle du réseau primaire (classe 4) permet de maîtriser des pertes importantes ; elle concourt aussi à l'équilibrage thermo-hydraulique de l'installation. Le circuit primaire « tourne » 24h/24 (8 760 h/an), et la gestion optimale du circulateur (ou pompe), à débit et vitesse variables (en mode PWM), est essentielle pour réduire la consommation d'électricité. Le concept des MTA offre la possibilité de se raccorder à diverses sources de génération de chaleur (énergies fossiles ou biosourcées, Pac aéro-, géothermique ou hybride, énergies renouvelables, RCU...). Il faut cependant bien maîtriser la charge thermique et la température de retour primaire avec une simulation thermo-hydraulique efficiente ■

