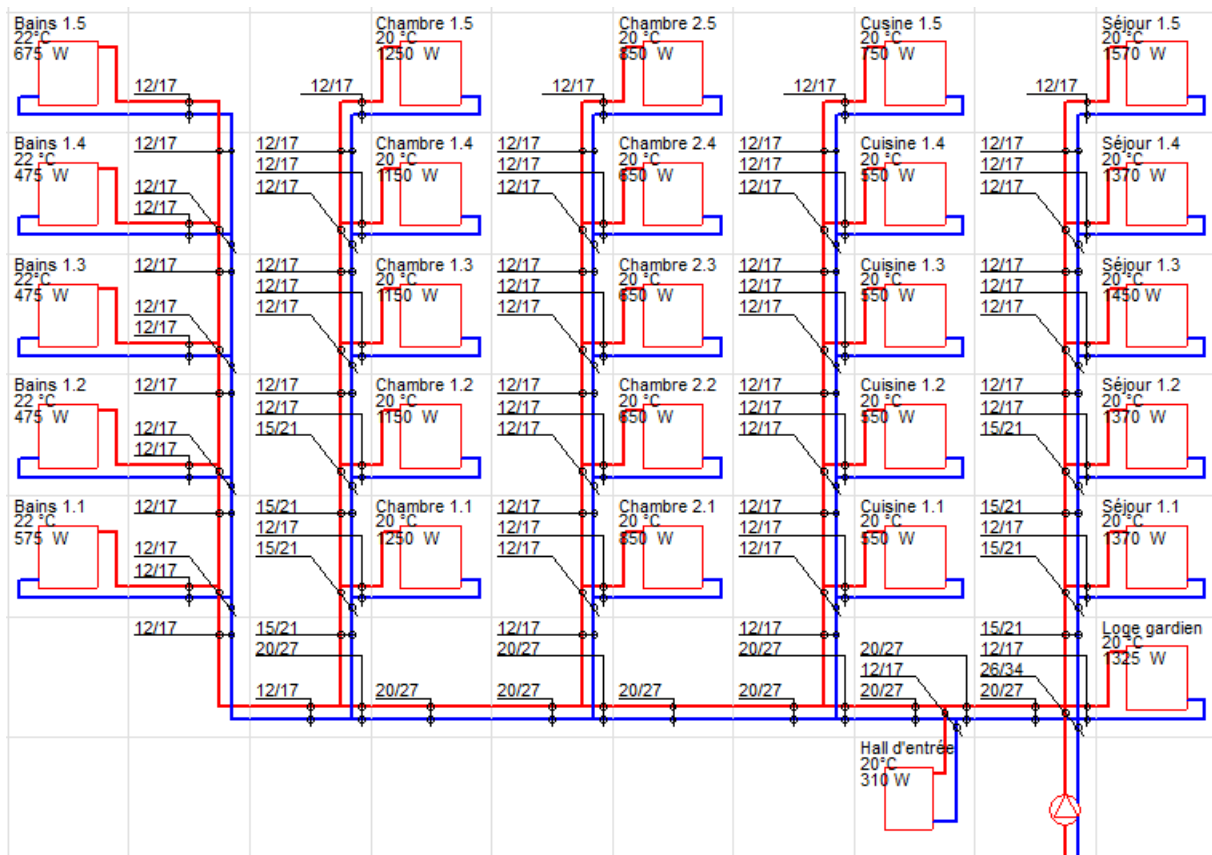


ÉQUILIBRAGE HYDRAULIQUE DES INSTALLATIONS DE CHAUFFAGE À EAU CHAUDE

Guide méthodologique pour la mise en œuvre pratique



Cabinet DUCHER Jean-Claude

Ingénierie Thermique et Climatique

Tél : 04 74 30 79 13- 06 80 66 90 25

E-Mail : ducher.jeanclaudio@gmail.com

<https://logiciels-thermiques.com>

DOMPilote

41 avenue Théophile Gautier

75016 Paris

Tél : Patrick DE CARNÉ - 06 58 67 39 76

E-Mail : contact@dompilote.fr

Préface.

Les installations de chauffage à eau chaude ont connu, ces dernières années, une véritable révolution technologique. Les constructeurs proposent aujourd'hui des systèmes de production de chaleur (chaudières à condensation, pompes à chaleur, micro-cogénération), d'émission de chaleur (radiateurs à haut rendement, planchers chauffants basse température, ventilo-convecteurs), de transport de chaleur (pompes à vitesse variable, canalisations pré-isolées) et de régulation-pilotage (vannes thermostatiques électroniques, DPCV, gestion centralisée) dont les performances unitaires sont exceptionnelles.

Pourtant, le potentiel réel de ces matériels industriels n'est souvent exploité qu'à une fraction de leur capacité. La raison en est simple : les performances annoncées par les fabricants ne se réalisent pleinement que lorsque l'installation dans son ensemble est conçue, réalisée et réglée avec la même rigueur que les composants eux-mêmes.

L'installateur et le projeteur ne sont plus seulement des poseurs de matériel. Ils deviennent les garants de la mise en cohérence entre des équipements hautement industrialisés et une réalisation de chantier qui, par nature, reste artisanale. C'est à cette interface critique que se joue l'essentiel des gains énergétiques et du confort attendu.

L'équilibrage hydraulique des installations constitue, à cet égard, la démonstration la plus concrète et la plus pédagogique de cette exigence. Il ne s'agit plus seulement de « répartir l'eau », mais d'appliquer, en connaissance de cause, une méthodologie rigoureuse qui permet à chaque émetteur de recevoir exactement le débit nécessaire à sa puissance utile, dans toutes les conditions réelles de fonctionnement.

Le gisement d'économie ainsi accessible est considérable, particulièrement dans les bâtiments collectifs équipés d'installations centralisées. Des études et retours d'expérience récents montrent que, sur ce type d'ouvrages, une mise en œuvre méthodique de l'équilibrage hydraulique permet des réductions de consommation énergétique comprises entre 15 % et 30 %, tout en améliorant sensiblement le confort des occupants et en réduisant les interventions de maintenance.

Ce guide a pour ambition de fournir aux professionnels du génie climatique les outils et la méthode nécessaires pour transformer cette opportunité en réalité quotidienne. Il ne s'agit pas d'un manuel théorique, mais d'un ouvrage pratique qui relie les performances des matériels modernes aux gestes concrets de conception, de réglage et de suivi.

Puissent ces pages contribuer à ce que chaque installation de chauffage, qu'elle soit neuve ou rénovée, exprime pleinement le potentiel technique que les industriels ont su développer.



Table des matières

Équilibrage hydraulique des installations de chauffage à eau chaude	6
Partie 1. Détermination du débit de référence des émetteurs.	6
1.1. Objet de la partie.....	6
1.2. Du besoin thermique au débit de référence.....	6
1.3. Hypothèses normatives et limites de représentativité.....	6
1.4. Effets des actions climatiques extérieures.....	6
1.5. Caractérisation thermique des parois vitrées.....	6
1.6. Influence de la ventilation.....	6
1.7. Apports internes et variabilité d'usage.....	6
1.8. Réhabilitation thermique et maintien des émetteurs.....	7
1.9. Lois d'émission des émetteurs.....	8
1.10. Régimes transitoires et relance après abaissement.....	8
1.11. Apport des technologies modernes de régulation.....	9
1.12. Qualité de l'eau et dérive dans le temps.....	9
1.13. Inventaire des perturbations à retenir.....	9
1.14. Transition vers la partie suivante.....	9
Partie 2. Critères de sélection des perturbations pour la détermination des débits de référence..	10
2.1. Objectif de la partie.....	10
2.2. Principes de base du tri.....	10
2.3. Perturbations à intégrer dans le débit de référence.....	10
2.4. Perturbations à ne pas intégrer dans le débit de référence.....	10
2.6. Synthèse des critères méthodologiques.....	11
2.7. Implications pour l'équilibrage hydraulique.....	11
2.8. Transition vers un document opérationnel.....	11
2.9. Coefficient de foisonnement du débit de référence.....	12
Partie 3. Le réseau de distribution hydraulique et ses contraintes sur la détermination des émetteurs et de leurs débits de référence.....	15
3.1. Objet de la partie.....	15
3.2. Qualité du fluide caloporteur.....	15
3.3. Température de départ du réseau.....	15
3.4. Chute de température dans les émetteurs.....	15
3.5. Chute de température de la distribution.....	15
3.6. Température effective d'alimentation des émetteurs.....	16
3.7. Apports de chaleur par les canalisations dans les locaux chauffés.....	16
3.8. Conséquences sur le dimensionnement des émetteurs.....	16
3.9. Vision d'ensemble pour la suite.....	17
3.10. Vitesses recommandées dans les canalisations.....	17
Partie 4. Mise en œuvre pratique de l'équilibrage hydraulique.....	19
4.1. Objectif de la partie.....	19
4.2. Préparation de l'intervention.....	19



4.3. Conditionnement du réseau avant équilibrage.....	19
4.4. Démarche générale de l'équilibrage.	19
4.5. Rôle des dispositifs d'équilibrage et de régulation.	20
4.6. Vérification des températures et des débits.	20
4.7. Prise en compte des contraintes de la distribution.	20
4.8. Calage des caractéristiques débit-pression des pompes.	20
4.9. Suivi saisonnier et contrôle de stabilité.	23
Partie 5. Régulation et programmation du fonctionnement.	26
5.1. Objet de la partie.....	26
5.2. Principes fondamentaux de la régulation.	26
5.3. Régulation en fonction de la température extérieure (loi d'eau).	27
5.4. Programmation du fonctionnement (modes et relance).	29
5.5. Régulation par thermostat d'ambiance programmable (maisons et appartements à)	31
5.6. Gestion des apports solaires et nécessité d'un zonage hydraulique.	33
5.7. Régulation des systèmes à très basse température et émetteurs rayonnants.	33
5.7. Équilibrage hydraulique et pompes à chaleur modernes.	34
5.8. Intégration avec la qualité de l'air intérieur et la ventilation.....	36
5.9. Suivi, diagnostic et maintenance prédictive.....	36
5.10. Dispositifs avancés (2026).	37
5.11. Cadre réglementaire (état exhaustif au 18 avril 2026, avec prévisions).....	37
5.12. Synthèse.	39
Partie 6. Contribution de la débitmétrie à l'équilibrage et au suivi des installations.	40
6.1. Objet de la partie.....	40
6.2. Champ d'application de la débitmétrie.	40
6.3. Principe général de la débitmétrie.	41
6.4. Apports de la débitmétrie à l'équilibrage hydraulique.	42
6.5. Conditions de pertinence des mesures.	42
6.6. Analyses et diagnostics rendus possibles.....	43
6.7. Importance du réglage des vannes thermostatiques.....	43
6.8. Vers des systèmes communicants et instrumentés.	44
6.9. Transition vers les outils d'exploitation et d'analyse.	44
Partie 7. Pompes à vitesse variable et contrôle de la pression disponible dans.....	45
7.1. Objet de la partie et vocabulaire.....	45
7.2. Principe général de fonctionnement.....	45
7.3. Lois d'affinité des pompes.....	45
7.4. Point de fonctionnement et courbe réseau.	46
7.5. Modes de régulation des circulateurs.....	46
7.6. Pression différentielle constante.	46
7.7. Loi proportionnelle quadratique.	47
7.8. Modes intelligents.....	47
7.9. Débit minimum et protection des générateurs.	47



7.10. Lien avec l'équilibrage hydraulique.....	48
7.11. Liaison avec le découplage hydraulique.....	48
7.12. Choix pratique de la loi de commande.....	48
7.13. Conséquences sur l'exploitation.	48
7.14. Conclusion de la partie.	49
Partie 8. Hydraulique en chaufferie.	50
8.1. Objet de la partie.....	50
8.2. Nécessité de la séparation hydraulique.	50
8.3. Fonction de la bouteille de séparation.....	51
8.4. Régimes de fonctionnement de la bouteille.	51
8.5. Cas où la séparation devient indispensable.	51
8.6. Équilibrage des vannes de mélange de régulation automatique.....	52
8.7. Autorité de la vanne.....	52
8.8. Comment assurer une bonne autorité.....	52
8.9. Court-circuits et surdébits.	53
8.10. Calcul et montage des bouteilles de séparation.	53
8.11. Vitesse dans les canalisations.....	53
8.12. Isolation des canalisations.....	54
8.13. Interaction avec les PAC et chaudières à condensation.....	54
8.14. Conséquences sur l'exploitation.	54
8.15. Règles pratiques.	55
8.16. Conclusion de la partie.	55
Annexe 1 – Glossaire.	57
Annexe 2 – Références normatives.....	58
Annexe 3 - Définition du débit de référence.....	59



Équilibrage hydraulique des installations de chauffage à eau chaude.

Partie 1. Détermination du débit de référence des émetteurs.

1.1. Objet de la partie.

L'équilibrage hydraulique ne consiste pas seulement à répartir un débit d'eau entre plusieurs émetteurs. Il s'agit de faire fonctionner, dans un bâtiment réel, un réseau de chauffage capable de fournir à chaque local la puissance utile attendue, dans des conditions qui s'écartent en permanence du point de calcul. La détermination du débit de référence constitue donc un préalable indispensable, mais elle doit être abordée comme une construction méthodique, et non comme une simple transposition du dimensionnement initial.

1.2. Du besoin thermique au débit de référence.

Le point de départ est l'évaluation des déperditions du bâtiment. Celles-ci résultent des caractéristiques de l'enveloppe, des renouvellements d'air et des conditions climatiques de référence. À partir de ces besoins, on détermine la puissance à installer par local, puis les caractéristiques des émetteurs, et enfin les débits de référence associés. Cette chaîne de calcul est cohérente sur le plan normatif, mais elle repose sur un ensemble d'hypothèses qui introduisent déjà un écart avec les conditions de fonctionnement observées en exploitation.

1.3. Hypothèses normatives et limites de représentativité.

Les méthodes de calcul retiennent des conditions défavorables destinées à couvrir les cas les plus pénalisants. Elles supposent notamment des conditions climatiques conventionnelles, une action du vent sur l'ensemble des façades, et une répartition simplifiée des échanges thermiques. Ces hypothèses sont justifiées pour le dimensionnement, mais elles ne décrivent pas le comportement instantané du bâtiment. Le débit de référence qui en découle doit donc être interprété comme une valeur de calcul, valable dans un cadre donné, et non comme une grandeur fixe indépendante des circonstances.

1.4. Effets des actions climatiques extérieures.

Le vent constitue une première source majeure de déséquilibre. Il agit sur les infiltrations d'air, modifie les pressions sur les façades et peut renforcer les déperditions de certains locaux tout en en atténuant d'autres. Dans les bâtiments ventilés en simple flux, cette influence est encore amplifiée par la répartition réelle des entrées d'air. L'ensoleillement joue également un rôle déterminant : selon l'orientation, il peut réduire fortement les besoins de chauffage, voire les annuler temporairement dans certains locaux, alors que d'autres restent exposés à des pertes élevées.

1.5. Caractérisation thermique des parois vitrées.

La performance des menuiseries vitrées ne peut pas être résumée à la seule mention d'un "double vitrage". Le coefficient U_w , le facteur solaire, la surface vitrée, l'orientation et la présence éventuelle de protections solaires modifient à la fois les pertes et les apports. Une caractérisation insuffisante de ces paramètres conduit à une estimation erronée des besoins locaux, donc à une approximation du débit de référence des émetteurs concernés.

1.6. Influence de la ventilation.

La ventilation mécanique simple flux introduit une asymétrie supplémentaire. L'air neuf entre par des dispositifs répartis sur l'enveloppe, tandis que l'air vicié est extrait mécaniquement. Sous l'effet du vent, les entrées d'air ne se répartissent pas uniformément entre façades, ce qui crée des déperditions différenciées selon l'exposition des locaux. Le modèle de calcul moyen ne reflète alors qu'imparfaitement le fonctionnement réel du bâtiment.

1.7. Apports internes et variabilité d'usage.

Les apports internes liés à l'occupation, aux équipements et aux usages du bâtiment réduisent ou modifient les besoins de chauffage. Ils introduisent une variabilité temporelle et spatiale qui ne peut pas être ignorée si l'on veut raisonner sur des débits réellement représentatifs. Un local occupé, ensoleillé et équipé peut nécessiter un débit très inférieur à celui déduit du seul calcul de déperditions, tandis qu'un autre, plus exposé et moins chargé intérieurement, conservera des besoins proches du maximum.



À ces apports s'ajoutent des comportements de confort souvent liés à la fermeture des volets la nuit, et plus largement lors des périodes de congés, notamment dans les immeubles de logements. La fermeture des volets, voire des rideaux devant de grandes baies, modifie les échanges thermiques à travers la façade et réduit la sensation de « parois froides » qui augmente la sensation de froid, même lorsque la température de l'air ambiant est proche de la consigne. En limitant ces échanges, la fermeture des volets ou des rideaux améliore la **température ressentie perçue** par les occupants, ce qui peut diminuer la demande de chauffage malgré des conditions extérieures identiques.

Par ailleurs, le **besoin de chauffage réel varie selon l'âge, l'occupation et la morphologie des occupants**. Les personnes âgées, les enfants, ou les personnes à mobilité réduite peuvent rechercher des températures de confort légèrement supérieures, tandis que d'autres occupants peuvent être plus sensibles au surchauffage. L'inertie de l'habitat, la répartition des espaces de vie, et les habitudes de présence (durée d'occupation, cycles d'activité, télétravail, etc.) influencent également la température de confort recherchée et, par conséquent, le débit réellement nécessaire par local.

Ces comportements et ces préférences personnelles renforcent la divergence entre le modèle de calcul nominal, fondé sur une occupation « moyenne » et une température de consigne constante, et le fonctionnement réel du réseau. Le débit de référence, établi à partir de besoins moyens normalisés, ne peut donc pas rendre compte de ces écarts de perception et de confort, qui relèvent davantage de la régulation, de la régulation locale (vanne thermostatique, gestion de zone) ou des ajustements individuels par les occupants.

1.8. Réhabilitation thermique et maintien des émetteurs.

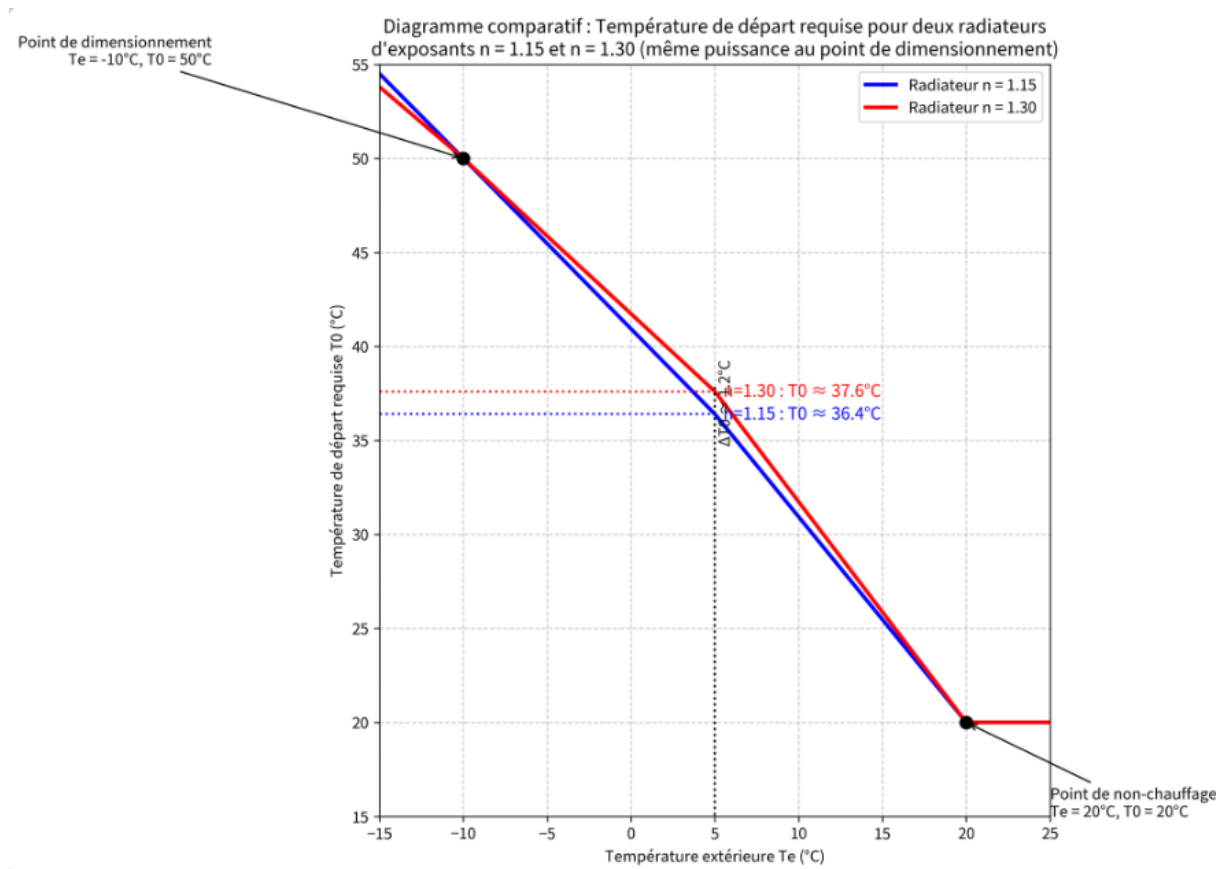
La réhabilitation thermique des bâtiments constitue un cas particulier essentiel. Lorsque les émetteurs existants sont conservés, leur maintien est souvent justifié par leur robustesse, leur durée de vie résiduelle ou la volonté de limiter le coût des travaux. Cette logique est fréquente et techniquement défendable, mais elle introduit une difficulté importante : l'amélioration de l'enveloppe par isolation, remplacement des fenêtres ou réduction des infiltrations fait baisser les besoins de chauffage, sans modifier la puissance installée des émetteurs.

Il en résulte inévitablement des disproportions de dimensionnement. Les émetteurs deviennent souvent surdimensionnés par rapport aux besoins réduits des locaux rénovés, tandis que certains secteurs peuvent rester pénalisés si la rénovation n'a été que partielle ou si les expositions sont très contrastées. Dans ce contexte, le débit de référence ne peut plus être déduit mécaniquement de l'état initial du bâtiment ; il doit être réexaminé à partir de la situation rénovée, en tenant compte du nouveau niveau de déperdition et de la persistance d'émetteurs dimensionnés pour un autre régime de fonctionnement.



1.9. Lois d'émission des émetteurs.

La puissance d'un émetteur dépend de la température de l'eau et suit une loi du type $Q = K \times (\Delta T)^n$, l'exposant dépendant de la technologie considérée. Lorsque plusieurs types d'émetteurs coexistent dans un même réseau, leurs comportements divergent dès que la température de départ s'éloigne du point nominal. Les débits de référence établis dans les conditions de base peuvent alors devenir inadaptés en régime de température réduite ou en mi-saison.



Légende et points mis en évidence

- **Courbe bleue** : Radiateur avec exposant $n = 1,15$;
- **Courbe rouge** : Radiateur avec exposant $n = 1,30$;
- Ligne verticale pointillée à $T_e = 5^\circ\text{C}$;
- Ligne horizontale pointillée bleue à $T_0 \approx 36,4^\circ\text{C}$ (pour $n = 1,15$) ;
- Ligne horizontale pointillée rouge à $T_0 \approx 37,6^\circ\text{C}$ (pour $n = 1,30$) ;
- Écart : $\Delta T_0 \approx 1,2^\circ\text{C}$

Points clés :

- **Point de dimensionnement** ($T_e = -10^\circ\text{C}$) $\rightarrow T_0 = 50^\circ\text{C}$ pour les deux radiateurs (égalité parfaite) ;
- **Point de non-chauffage** ($T_e = 20^\circ\text{C}$) $\rightarrow T_0 = 20^\circ\text{C}$ pour les deux radiateurs (égalité parfaite) ;
- **Point intermédiaire** ($T_e = 5^\circ\text{C}$) $\rightarrow$ différence de température d'entrée d'eau nécessaire.

1.10. Régimes transitoires et relance après abaissement.

Les phases de relance après abaissement nocturne ou après interruption de week-end constituent un moment critique. La puissance appelée est alors temporairement supérieure à celle du régime établi, car il faut compenser simultanément les pertes du bâtiment et la remise en température des masses thermiques. Les circuits ne réagissent cependant pas tous de la même manière, en fonction de leur



inertie, de leurs pertes de charge et de leurs caractéristiques d'émission. Ces phases mettent donc en évidence des déséquilibres qui ne sont pas nécessairement visibles en fonctionnement stabilisé.

1.11. Apport des technologies modernes de régulation.

Les technologies actuelles de régulation hydraulique permettent d'adapter avec une grande précision le fonctionnement de l'installation aux différents régimes d'exploitation programmés, qu'il s'agisse du mode normal, du mode abaissé ou des phases de relance. Elles contribuent ainsi à la stabilité de la température ambiante dans les locaux et à l'amélioration du confort ressenti. Toutefois, la mise en place de ces dispositifs sans connaissance aussi précise que possible des débits de référence à régler conduit inévitablement à un échec partiel, voire total, des attentes initiales, tant sur le plan du confort thermique que sur celui des économies d'énergie qui en dépendent. Autrement dit, la performance de la régulation dépend directement de la qualité des références sur lesquelles elle s'appuie.

1.12. Qualité de l'eau et dérive dans le temps.

La qualité de l'eau constitue enfin un facteur de dérive progressive. La corrosion, les boues, les dépôts et les phénomènes d'encrassement modifient les pertes de charge et perturbent le fonctionnement des vannes, des circulateurs et des émetteurs. Un réseau initialement équilibré peut donc se déséquilibrer avec le temps si la qualité d'eau n'est pas maintenue par filtration, séparation des boues, traitement adapté et suivi régulier.

1.13. Inventaire des perturbations à retenir.

À ce stade, la première partie doit permettre de recenser l'ensemble des éléments qui perturbent la détermination du débit de référence :

- Les hypothèses climatiques normatives ;
- L'action du vent sur les façades et les infiltrations ;
- L'ensoleillement selon l'orientation ;
- La caractérisation thermique des menuiseries vitrées ;
- La ventilation, en particulier en simple flux ;
- Les apports internes et les variations d'usage ;
- Les lois d'émission des émetteurs ;
- Les phases transitoires liées à l'abaissement et à la relance ;
- La réhabilitation thermique avec maintien des émetteurs existants ;
- La qualité de l'eau et la dérive du réseau dans le temps ;
- L'apport des technologies modernes de régulation.

Cette liste constitue la base d'analyse de la seconde partie, qui devra distinguer les perturbations à intégrer dans le calcul de celles qui doivent en être exclues pour établir un débit de référence exploitable.

1.14. Transition vers la partie suivante.

La conclusion de cette première partie peut donc être formulée ainsi : le débit de référence ne saurait être assimilé à une valeur universelle et permanente. Il résulte d'un modèle de calcul, mais ce modèle est perturbé par des phénomènes climatiques, fonctionnels, temporels et patrimoniaux qui imposent une analyse préalable. La question n'est pas seulement de calculer un débit, mais de déterminer, parmi tous les écarts observables, ceux qui relèvent du réglage hydraulique et ceux qui relèvent du comportement variable du bâtiment.

Ces différentes contraintes, difficilement quantifiables au temps "t", peuvent être considérées sous la forme d'un **coefficient de foisonnement du débit de référence**, tel que défini et justifié dans la **Partie 2** du document. Ce coefficient permet de rendre compte, de manière simplifiée, de la variabilité collective des usages, de la répartition des ouvertures (volets, rideaux), des variations d'occupation et des effets de la régulation, sans chercher à modéliser chaque comportement individuel au moment du calcul.



Partie 2. Critères de sélection des perturbations pour la détermination des débits de référence.

2.1. Objectif de la partie.

La première partie a permis de recenser l'ensemble des phénomènes susceptibles de perturber la détermination des débits de référence. Cette seconde partie vise à opérer un tri méthodologique : distinguer les perturbations qui doivent être intégrées dans le calcul des débits de référence hydrauliques de celles qui relèvent, soit du comportement variable du bâtiment, soit de la régulation, soit de la gestion de l'exploitation.

Le but est de définir un référentiel cohérent, permettant de déterminer des débits réalistes, stables et exploitables pour le réglage du réseau, sans chercher à tenir compte de tous les écarts ponctuels.

2.2. Principes de base du tri.

Plusieurs principes peuvent guider la sélection :

- **Caractère structurant ou non** : une perturbation est retenue si elle modifie de façon durable la répartition des besoins thermiques entre locaux (enveloppe, menuiseries, ventilation, réhabilitation) ;
- **Caractère opérationnel du débit** : le débit de référence doit rester associé au **régime nominal de fonctionnement** (mode normal, température de consigne usuelle, débits de base) et non aux régimes exceptionnels (pics de froid, surpuissance, relance extrême) ;
- **Compatibilité avec les capacités de réglage** : les débits doivent être fixés dans des plages ajustables par les dispositifs d'équilibrage et de régulation existants, sans chercher à compenser des phénomènes purement passagers.

2.3. Perturbations à intégrer dans le débit de référence.

Les perturbations suivantes doivent être prises en compte pour la détermination des débits de référence, car elles modifient durablement la répartition des besoins :

- Les hypothèses climatiques normatives, qui définissent le niveau de base des déperditions ;
- Les caractéristiques de l'enveloppe après réhabilitation thermique, lorsque l'état du bâtiment a été modifié (isolation, remplacement de fenêtres, traitement des infiltrations) ;
- La caractérisation thermique des menuiseries vitrées (U_w , facteur solaire, surface vitrée, orientation, protections solaires) ;
- La ventilation, en particulier la ventilation simple flux, du fait de l'effet permanent de la répartition des entrées d'air sur les déperditions ;
- La réhabilitation thermique avec maintien des émetteurs existants, qui impose de recalculer les besoins pour chaque local sans remettre en cause la puissance installée conservée ;
- Les lois d'émission des émetteurs, pour assurer la cohérence entre débits calculés et température de départ retenue.

Ces éléments conditionnent directement la puissance à fournir par local et donc le débit de référence exploitable pour l'équilibrage hydraulique.

2.4. Perturbations à ne pas intégrer dans le débit de référence.

D'autres perturbations, bien que réelles, doivent être exclues du calcul des débits de référence, car elles relèvent plutôt de la régulation, de la gestion d'exploitation ou de situations transitoires :

- Les variations ponctuelles du vent ou de l'ensoleillement, qui modifient temporairement les besoins, mais sans justifier une révision permanente des débits de référence ;
- Les apports internes liés à l'occupation et aux équipements, dont l'effet est variable et difficilement reproductible sur le long terme ;
- Les phases transitoires de relance après abaissement nocturne ou de fin de semaine, qui correspondent à des régimes de surpuissance et à des débits temporaires ;



- Les fluctuations de la qualité de l'eau, qui sont traitées par la maintenance et non par le réglage initial des débits ;
- Les capacités de régulation hydraulique et de modulation des débits, qui doivent s'appuyer sur les débits de référence établis, mais ne doivent pas servir de base à leur calcul.

Pour ces phénomènes, l'attente est que la régulation et la gestion de l'installation assurent la souplesse nécessaire, alors que les débits de référence restent figés sur une base de comportement nominal.

2.5. Perturbations à traiter séparément (comportement variable du bâtiment).

Certaines perturbations trouvent leur place dans un traitement distinct, complémentaire du réglage hydraulique :

- Les variations saisonnières de température extérieure, pour lesquelles la régulation de température de départ (courbe de chauffe, gestion de la puissance produit) assure l'adaptation ;
- Les modes de fonctionnement programmés (normal, abaissé, relance), qui relèvent de la stratégie de commande et non du débit de référence statique ;
- Les conditions d'exploitation propres au bâtiment (densité d'occupation, programmes d'occupants, activités spécifiques), qui peuvent donner lieu à des ajustements locaux ou à des optimisations temporaires, mais sans modification de la base d'équilibrage.

Ce découplage permet de distinguer clairement la **base de réglage hydraulique** (débits de référence) du **comportement variable du bâtiment** (régulation, programmation, exploitation).

2.6. Synthèse des critères méthodologiques.

Pour guider la détermination des débits de référence, on peut retenir trois critères principaux :

1. **Durabilité de l'effet** : la perturbation doit modifier durablement la répartition des besoins thermiques ;
2. **Représentativité du régime nominal** : le débit de référence doit décrire le fonctionnement en mode normal, non les régimes exceptionnels ou transitoires ;
3. **Compatibilité avec le réglage** : la perturbation doit pouvoir être intégrée dans un cadre de réglage stable, sans exiger des ajustements permanents ou impossibles à mettre en œuvre.

Ces critères permettent de passer d'un inventaire exhaustif des perturbations à une base de débit de référence exploitée directement pour l'équilibrage hydraulique.

2.7. Implications pour l'équilibrage hydraulique.

La justesse des débits de référence conditionne directement la performance de l'équilibrage. Les vannes d'équilibrage, les dispositifs dynamiques et la régulation hydraulique ne peuvent être efficaces que si leurs références de débit reposent sur une base thermique correcte, adaptée à l'état réel du bâtiment et à ses modes de fonctionnement.

En revanche, tenter de prendre en compte tous les phénomènes variables conduirait à un réglage imprécis, instable et difficile à maintenir dans la durée. La distinction entre ce qui est **fixé par le débit de référence** et ce qui est **géré par la régulation** assure une meilleure pérennité de l'équilibrage et une meilleure adéquation avec les attentes de confort thermique et d'économies d'énergie.

2.8. Transition vers un document opérationnel.

La synthèse de ces critères peut être utilisée pour construire un **guide de détermination des débits de référence**, intégré à un carnet d'utilisation et d'entretien de l'installation. Ce guide, structuré autour des critères de durabilité, de représentativité du régime nominal et de compatibilité avec le réglage, constitue la base de mise en œuvre de l'équilibrage hydraulique pour les projets de conception, de modernisation, ou de réhabilitation thermique.



Il est essentiel de distinguer, à ce stade, le rôle de la puissance calculée à partir des déperditions de chaleur de celui du débit de référence associé. L'utilisation de la puissance issue du calcul des déperditions est tout à fait justifiée pour le dimensionnement des émetteurs, afin de garantir qu'ils soient capables de compenser les demandes extrêmes (conditions de calcul défavorables, froid maximal, sur ventilation, etc.). En revanche, le débit de référence de ces mêmes émetteurs ne doit pas être calculé à partir de cette puissance de compensation maximale. Le débit de référence doit plutôt correspondre à un fonctionnement nominal, représentatif des conditions de régime courant du bâtiment.

Les variations, en plus ou en moins, du débit effectivement nécessaire autour de ce débit de référence relèvent de la régulation et de la gestion dynamique du réseau. Elles se traduisent par des redistributions des débits entre tous les émetteurs de l'installation, tandis que le débit de référence constitue un point de référence stable pour le réglage hydraulique initial.

2.9. Coefficient de foisonnement du débit de référence.

Le débit de référence correspond à l'apport de puissance net nécessaire pour compenser les déperditions en régime continu de chauffage établi et à températures constante intérieure et extérieure. Il est calculé à partir de la puissance nominale de l'émetteur et de la température d'entrée effective.

La notion de **coefficient de foisonnement du débit de référence** permet de rendre compte, de manière simplifiée mais opérationnelle, du fait qu'en fonctionnement normal les besoins réels ne représentent qu'un pourcentage de la puissance nominale et du débit de référence. Il intègre ainsi les perturbations liées à l'occupation, aux comportements des occupants (fermeture de volets, absence lors de congés, cycles d'usage), aux variations de température ressentie et aux effets de la régulation, sans chercher à modéliser chacun de ces phénomènes individuellement au moment du calcul.

En réalité, les besoins thermiques ne sont jamais simultanés à 100 % dans l'ensemble du bâtiment. Le coefficient de foisonnement exprime donc la **non-simultanéité moyenne** des besoins thermiques entre les locaux. Par exemple, un coefficient de 0,80 signifie que, en fonctionnement normal, les besoins réels ne représentent en moyenne que **80 %** de la puissance nominale et du débit de référence.

Important : la prise en compte d'un coefficient de foisonnement n'est applicable que dans le cas d'installations dotées de régulateurs de pression différentielle (DPCV). Seuls ces dispositifs permettent à chacun des émetteurs d'une branche ou d'une colonne une variation de débit en plus ou en moins autour de la valeur de débit de référence afin d'adapter la puissance émise en fonction de l'évolution des besoins (absence ou excès de chaleur gratuite).

Exemple concret (Appartement 1 Nord – Annexe 2) : Déperditions nominales = 2 400 W → puissance foisonnée (coefficient 0,80) = 1 920 W → débit foisonné = 165 kg/h. En régime nominal sans chaleur gratuite, le besoin passe à 2 400 W.

- Avec un té de réglage statique, le débit reste bloqué à 165 kg/h → déficit de puissance de 480 W (20 %). La température ambiante baisse de 1 à 1,5 °C jusqu'à ce que la régulation centrale augmente T_0 à T_0 .
- Avec **DPCV + robinet thermostatique**, le TRV s'ouvre librement et le débit peut augmenter jusqu'à la valeur nominale (206 kg/h). La puissance émise atteint immédiatement les 2 400 W sans attendre une hausse de la température de départ. Le DPCV maintient une pression différentielle constante, garantissant la stabilité globale du réseau.



Valeurs recommandées :

Type de bâtiment	Facteur de foisonnement conseillé	Remarque
Bureaux / Tertiaire	0,75 – 0,85	Occupation variable
Logements collectifs	0,70 – 0,80	Présence intermittente
Hôtels / Résidences	0,65 – 0,75	Fortes variations
Écoles / Lycées	0,80 – 0,90	Horaires définis
Cas le plus défavorable	1,00	Simultanéité totale

Ces valeurs correspondent à un niveau de foisonnement moyen observé dans chaque type d'usage. Elles sont empiriques et résultent de mesures in situ et de retours d'expérience accumulés depuis plusieurs décennies.

Conséquences pratiques Un coefficient de 0,80 permet de réduire les débits de référence de 20 %, ce qui entraîne :

- Des pompes et circulateurs moins puissants (économie d'énergie) ;
- Des vannes d'équilibrage dimensionnées de manière plus réaliste ;
- Un réseau globalement plus stable et plus silencieux.

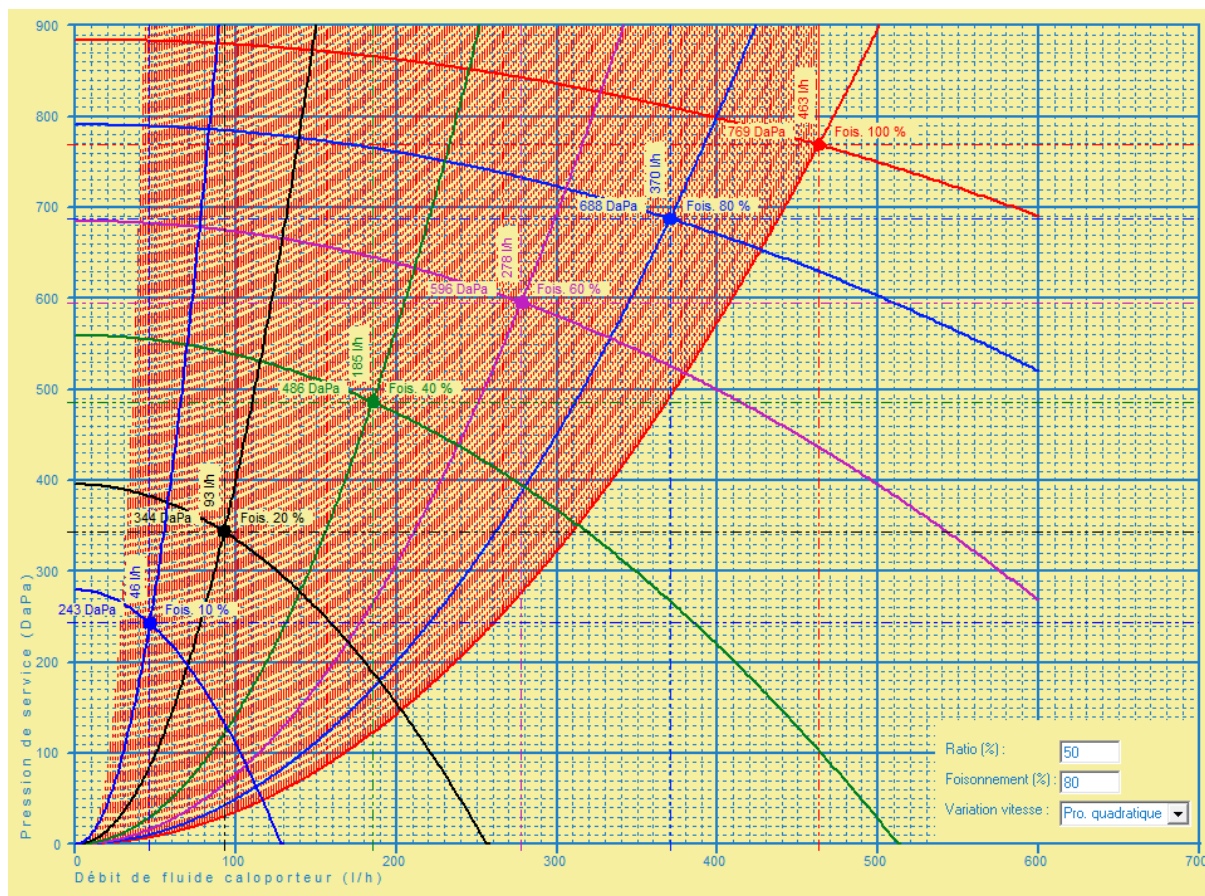
Le choix du coefficient de foisonnement doit être cohérent avec la finalité du projet :

- Pour un dimensionnement « robuste » ou peu surveillé, on se rapprochera de la borne supérieure de la plage ;
- Pour une installation bien pilotée, avec régulation fine et suivi, on privilégiera une valeur plus proche de la borne inférieure.

Cette approche, associée à la méthode de détermination des débits de référence définie dans cette partie et à la présence de DPCV, permet de concilier la cohérence du calcul initial avec la variabilité réelle du fonctionnement du bâtiment. En pratique, un installateur qui appliquerait les débits nominaux sans foisonnement risquerait de suréquiper les vannes d'équilibrage et de créer des déséquilibres permanents. Le coefficient de foisonnement permet au contraire de dimensionner des organes de réglage adaptés à la réalité du bâtiment.



Diagramme : Évolution de la perte de charge et courbes de pompe à débit variable.



Légende du diagramme :

- **Courbes rouges** : Perte de charge du réseau (système hydraulique) - courbe quadratique classique.
- **Courbes bleues** : Pompe et Perte de charge du réseau à 80% de foisonnement.
- **Courbes magenta** : Pompe et Perte de charge du réseau à 60% de foisonnement.
- **Courbes vertes** : Pompe et Perte de charge du réseau à 40% de foisonnement.
- **Courbes noires** : Pompe et Perte de charge du réseau à 20% de foisonnement.
- **Courbes bleues** : Pompe et Perte de charge du réseau à 10% de foisonnement.

Lorsque le débit varie autour du débit de référence (par exemple suite à l'ouverture/fermeture des robinets thermostatiques ou à la disparition/apparition de chaleur gratuite), la pompe à vitesse variable déplace automatiquement son point de fonctionnement sur le nouveau rapport des courbes du système.



Partie 3. Le réseau de distribution hydraulique et ses contraintes sur la détermination des émetteurs et de leurs débits de référence.

3.1. Objet de la partie.

La partie précédente a permis de distinguer les perturbations liées au bâtiment, à son usage et à la régulation, dans la détermination des débits de référence. La présente partie aborde la **face « réseau »** de l'équilibrage : le réseau de distribution hydraulique impose lui-même des contraintes qui conditionnent à la fois le dimensionnement des émetteurs et la définition de leurs débits de référence. Ces contraintes portent sur la qualité du fluide caloporteur, la température de départ, les chutes de température, les températures effectives d'alimentation et les apports involontaires de chaleur dans les locaux.

3.2. Qualité du fluide caloporteur.

La qualité du fluide (eau) conditionne directement la stabilité des pertes de charge, la durée de vie des composants et l'efficacité des émetteurs. Corrosion, boues, dépôts, aérations et phénomènes microbiens modifient progressivement la section utile des canalisations et des émetteurs, créant des déséquilibres hydrauliques non prévus au calcul.

Pour la détermination du débit de référence, il est donc indispensable de raisonner sur un fluide de qualité préservée (filtration, traitement, séparation des boues, contrôle de pH et d'oxygène), ce que le réseau réel tend à dégrader avec le temps. Le débit de référence suppose ainsi un état de fluide « idéal » tel que supposé au dimensionnement, tandis que la maintenance du réseau vise à se rapprocher de cet état.

3.3. Température de départ du réseau.

La température de départ constitue un paramètre de projet fondamental, car c'est à partir de cette valeur que la puissance d'un émetteur est calculée. Elle est déterminée en fonction :

- Des déperditions de base ;
- Du dispositif de production de chaleur (les basses températures favorisant le COP des pompes à chaleur) ;
- De la technologie des émetteurs ;
- De la stratégie de régulation (courbe de chauffe, tarage des émetteurs, niveau d'efficacité visé).

La détermination du débit de référence doit donc être cohérente avec la température de départ retenue, tout en tenant compte du fait que, dans la pratique, cette température peut être modulée (mode normal, mode abaissé, mi-saison). Les débits de référence sont fixés pour le régime nominal, alors que la régulation assure ensuite la variation des températures de départ.

3.4. Chute de température dans les émetteurs.

La chute de température dans l'émetteur (écart entre la température d'entrée et de sortie de l'émetteur) est liée à la puissance qu'il doit restituer et à son débit. Elle est dictée par la relation $Q = m \times c_m \times \Delta T$, où le débit massique m est déterminé à partir du débit volumique et de la température de l'eau.

Une chute de température trop faible conduit à des débits élevés, coûteux sur le plan hydraulique ; une chute trop forte augmente les irrégularités de température et peut nuire au confort. Le choix de la chute de température de calcul (par exemple 5, 10 ou 20 K) conditionne donc directement le débit de référence associé à chaque émetteur, ainsi que la compatibilité avec les capacités des circulateurs et des vannes de réglage.

3.5. Chute de température de la distribution.

La distribution elle-même subit une perte de température entre le générateur et l'entrée des émetteurs, en raison des déperditions par les canalisations non isolées ou sous-isolées, et de la durée de circulation. Cette perte diminue la température effective d'entrée des émetteurs, ce qui modifie leur puissance utile si le débit n'est pas corrigé.



Pour la détermination du débit de référence, il est donc nécessaire de :

- Prendre en compte la longueur et l'isolation des canalisations ;
- Estimer la chute de température de distribution ;
- Ajuster la température de départ imposée au générateur pour que la température d'entrée des émetteurs reste conforme à celle utilisée au calcul thermique.
En pratique, cette démarche conduit à faire dépendre le débit de référence non seulement de la puissance exigée, mais aussi de la température de départ « corrigée » tenant compte de la distribution.

3.6. Température effective d'alimentation des émetteurs.

La température effective d'alimentation des émetteurs résulte de la combinaison entre la température de départ du réseau, la chute de température de distribution, la répartition hydraulique (débits, longueurs, isolations) et le mode de fonctionnement (normal, abaissé, mi-saison). Le calcul de la température du fluide caloporteur au long du réseau de distribution est donc une étape indispensable pour une bonne détermination de chaque émetteur, de son dimensionnement et de la détermination de son débit de référence.

Le dimensionnement des émetteurs est déterminé à partir de la **température d'entrée** de l'émetteur, c'est-à-dire de la température du fluide caloporteur effectivement disponible à cet emplacement du réseau, et non à partir de la température de départ brute du générateur. Cette température d'entrée résulte du calcul de la chute de température de distribution, appliquée à la trajectoire hydraulique qui mène du générateur à l'émetteur considéré.

En pratique, un émetteur situé en tête de réseau dispose d'une température d'entrée plus élevée que celui situé en fin de ligne, même si la même température de départ est supposée au niveau du générateur. Cette différence de la température d'alimentation influe directement sur la puissance restituée par chaque émetteur et conditionne la cohérence entre dimensionnement, débit de référence et comportement réel du réseau. Ainsi, la prise en compte de la température d'entrée réelle constitue un maillon essentiel pour garantir que le débit de référence, déterminé à partir de cette température, soit représentatif des conditions de fonctionnement hydrauliques et thermiques effectives de l'installation.

3.7. Apports de chaleur par les canalisations dans les locaux chauffés.

Les canalisations de distribution, même lorsqu'elles sont partiellement isolées, rayonnent une certaine quantité de chaleur dans les locaux où elles passent. Ces apports sont généralement faibles, mais peuvent devenir non négligeables dans les locaux petits, bien isolés ou mal ventilés, ou encore lorsque les canalisations sont longues, non calorifugées ou traversent des pièces intérieures.

Dans certains cas, ces apports peuvent compenser partiellement les déperditions, ce qui modifie localement la puissance nécessaire aux émetteurs. Pour la détermination du débit de référence, il est donc nécessaire de :

- Distinguer les locaux où les canalisations sont en partie apportant de la chaleur (local technique, sous-plafond, passage dans un local habitable) ;
- Ne pas négliger ces apports dans les calculs de déperditions ;
- Ajuster la puissance à fournir par l'émetteur en conséquence, ce qui conduit à un débit de référence potentiellement réduit par rapport à une approche où les pertes de chaleur par les canalisations seraient uniquement considérées comme des pertes « inutiles ».

3.8. Conséquences sur le dimensionnement des émetteurs.

Le réseau de distribution hydraulique impose ainsi un cadre global qui conditionne le dimensionnement des émetteurs :

- La température de départ détermine le niveau de puissance restituée par un débit donné ;
- La chute de température dans l'émetteur fixe la relation entre puissance et débit ;
- La chute de température de la distribution conditionne la répartition de la température effective entre les émetteurs ;



- La qualité du fluide caloporteur influence la stabilité des pertes de charge et la durabilité des émetteurs ;
- Les apports de chaleur par les canalisations créent des décalages locaux entre besoin thermique théorique et besoin réel.

Toutes ces contraintes convergent vers la nécessité de définir pour chaque émetteur un débit de référence cohérent avec :

- La puissance installée ;
- La température de départ ajustée ;
- La chute de température de distribution ;
- L'état de la distribution ;
- La présence éventuelle d'apports involontaires.

3.9. Vision d'ensemble pour la suite.

À l'issue de cette partie, il apparaît que la détermination des débits de référence ne peut pas se faire en dehors de la réalité du réseau de distribution hydraulique. Le débit de référence d'un émetteur n'est pas seulement la résultante de ses déperditions, mais le point d'application où se conjoint la demande thermique du local, la température effectivement disponible à l'entrée de l'émetteur, la qualité du fluide et la configuration hydraulique du réseau.

3.10. Vitesses recommandées dans les canalisations.

La vitesse de circulation de l'eau dans les canalisations constitue un paramètre fondamental de la stabilité hydraulique, du niveau acoustique, de la consommation énergétique des circulateurs et de la durabilité des réseaux.

Une vitesse insuffisante favorise :

- Les dépôts et phénomènes d'embouage ;
- La mauvaise évacuation de l'air ;
- Les écarts de température excessifs ;
- Les déséquilibres hydrauliques.

À l'inverse, une vitesse excessive peut provoquer :

- Des nuisances acoustiques ;
- Des phénomènes d'érosion ;
- Des pertes de charge importantes ;
- Une surconsommation des circulateurs ;
- Une instabilité des organes de régulation.

Le choix des diamètres de canalisations doit donc rechercher un compromis entre stabilité hydraulique, coût d'investissement, performance énergétique et confort acoustique.



Tableau indicatif des vitesses recommandées

Type de réseau	Vitesse recommandée
Réseau principal tertiaire	0,8 à 1,5 m/s
Colonnes montantes	0,6 à 1,2 m/s
Distribution horizontale logements	0,4 à 0,8 m/s
Réseaux à exigences acoustiques élevées	$\leq 0,6$ m/s
Réseaux avec vannes PICV/DPCV	0,4 à 1,0 m/s
Pieds de colonnes	$\leq 1,5$ m/s
Circuits terminaux radiateurs	0,2 à 0,6 m/s
Bouteille de séparation	$\leq 0,1$ m/s

Ces valeurs doivent être adaptées :

- Au type de bâtiment ;
- Au régime de température ;
- Au niveau acoustique recherché ;
- À la qualité de régulation ;
- À la présence ou non de circulateurs à vitesse variable.

Dans les installations modernes à débit variable, les vitesses réelles peuvent évoluer fortement au cours du fonctionnement. L'équilibrage hydraulique doit donc être conçu pour garantir la stabilité du réseau même en régime partiel.



Partie 4. Mise en œuvre pratique de l'équilibrage hydraulique.

4.1. Objectif de la partie.

La partie 4 a pour objectif de relier les résultats des parties précédentes à la **mise en service et au réglage effectifs** du réseau. La détermination des débits de référence, des températures d'entrée et des contraintes de distribution ne sert à rien si elle n'est pas traduite en opérations mesurables sur le terrain. Cette partie décrit donc la démarche à suivre, depuis la préparation jusqu'au contrôle de la stabilité du fonctionnement, en intégrant les contraintes relevées aux parties 1 à 3.

4.2. Préparation de l'intervention.

Avant tout réglage, il est nécessaire de disposer d'un **état des lieux structuré** :

- Plan de réseau (schéma de principe, schéma de distribution, position des émetteurs, longueurs de canalisations, diamètres, isolations) ;
- Données de calcul : déperditions par local, puissance installée par émetteur, températures de départ et de retour, températures d'entrée corrigées, débits de référence, pertes de charge estimées ;
- Recueil des informations sur la qualité de l'eau (état de filtration, traitement appliqué, historique d'encrassement).

Cette préparation permet de vérifier la cohérence entre le modèle de calcul et l'état réel de l'installation, et de détecter d'éventuelles erreurs de dimensionnement ou de schéma, avant de procéder à toute mesure ou réglage.

4.3. Conditionnement du réseau avant équilibrage.

Pour garantir la pertinence des mesures, plusieurs actions préliminaires sont nécessaires :

- Purge complète du réseau (air dans les canalisations et émetteurs) ;
- Vérification et correction de la qualité de l'eau (traitement, filtration, séparation des boues, ajustement de pH, élimination de grosses particules) ;
- Mise en marche du système à un régime de fonctionnement stable (température de départ conforme, circulateur au bon débit, absence de fuites).

Un réseau contenant de l'air, de la boue ou des débris introduit des pertes de charge artificielles et des variations de débit, ce qui rend impossible un équilibrage précis.

4.4. Démarche générale de l'équilibrage.

La démarche peut être organisée en plusieurs étapes :

1. **Réglage des débits principaux** (réseau de distribution, colonnes, circuits généraux) à partir des débits de référence globaux ;
2. **Réglage fin des émetteurs** (radiateurs, batteries, convecteurs, plafonds, planchers) à l'aide de vannes ou de distributeurs équipés d'éléments de mesure ou de lectures de K_v/Q ;
3. **Vérification des températures de retour** et des températures de départ, pour s'assurer que la chute de température dans chaque émetteur reste conforme à celle prévue au calcul ;
4. **Réajustements itératifs** lorsque les mesures montrent des écarts systématiques (par exemple, certains émetteurs toujours trop chauds, d'autres toujours trop froids, ou une température de retour trop élevée).

L'équilibrage peut être mené en **mode statique** (réglage une fois pour toutes de pertes de charge et de débits) ou en **mode dynamique** (utilisation de vannes de régulation à pertes de charge constante, ou de régulation centralisée), selon le niveau de sophistication de l'installation.



4.5. Rôle des dispositifs d'équilibrage et de régulation.

Les dispositifs d'équilibrage (vannes d'équilibrage statiques ou dynamiques, robinets thermostatiques, régulateurs de débit, circulateurs à vitesse variable, régulateurs de pression différentielle) doivent être utilisés en cohérence avec les débits de référence déterminés.

- Les **vannes d'équilibrage** permettent de fixer la perte de charge pour un émetteur ou un circuit, de manière à faire coïncider le débit réel avec le débit de référence calculé ;
- Les **vannes dynamiques** ou régulateurs de pression différentielle maintiennent la pression de réglage malgré les variations de conditions hydrauliques (ouverture et fermeture d'autres vannes, modulation des circulateurs) ;
- Les **régulateurs de température de départ** ajustent la température d'alimentation du réseau en fonction de la température extérieure, tout en s'appuyant sur les débits de référence pour assurer la cohérence de la distribution.

4.6. Vérification des températures et des débits.

La vérification ne se limite pas à la simple mesure du débit. Il est essentiel de :

- Mesurer la **température de départ** et la **température de retour** de chaque émetteur ou de chaque circuit, afin de vérifier la chute de température prévue au calcul ;
- Comparer le **débit mesuré** au **débit de référence** déterminé à partir de la température d'entrée réelle et de la puissance installée ;
- Identifier les écarts structurés (par exemple, une série d'émetteurs systématiquement en sur-température, ou une chute de température trop faible).

Les écarts trop importants indiquent soit une erreur de débit de référence (par exemple, température d'entrée mal estimée), soit une mauvaise installation (canalisations isolées, existence de raccords parasites), soit une modulation de régulation inadaptée.

4.7. Prise en compte des contraintes de la distribution.

La mise en œuvre pratique de l'équilibrage doit intégrer les contraintes de distribution explicitées en partie 3 :

- L'effet de la **chute de température de la distribution** sur la température d'entrée des émetteurs, en particulier pour les émetteurs situés en fin de ligne. Plus le débit sera réduit en amont, pour quelques raisons que ce soient, plus la température en aval sera basse ;
- La **qualité du fluide caloporteur**, qui conditionne la stabilité des débits sur le long terme ;
- La présence d'**apports de chaleur involontaires** par les canalisations, susceptibles de modifier localement les besoins de l'émetteur.

Ces éléments doivent être pris en compte lors de la lecture des mesures et de l'ajustement des réglages, et non simplement ignorés au bénéfice d'un réglage apparent « satisfaisant » mais instable.

4.8. Calage des caractéristiques débit-pression des pompes.

La mise en œuvre pratique de l'équilibrage hydraulique ne peut être satisfaisante si elle n'intègre pas le calage des caractéristiques débit-pression des circulateurs. La puissance hydraulique utile dépend directement de la demande globale du réseau : débits de référence des émetteurs, pertes de charge totales (longueurs, diamètres, pièces spéciales, vannes, émetteurs) et conditions de régulation.

Le circulateur doit être choisi ou réglé de manière à fournir un débit global compatible avec la somme des débits de référence, tout en surmontant la perte de charge la plus défavorable du réseau sans pour autant engendrer des pertes inutiles par excès de pression. Dans bien des cas, les circulateurs sont initialement surdimensionnés ou réglés en mode de fonctionnement continu à pleine vitesse, ce qui conduit à des débits locaux supérieurs aux débits de référence, à des niveaux de pression élevés, et à des fluctuations de débits difficiles à maîtriser.



Lors de l'opération d'équilibrage, il est donc nécessaire de :

- Vérifier que le débit global produit par le circulateur est cohérent avec la somme des débits de référence corrigés ;
- Ajuster la courbe débit-pression du circulateur (changement de vitesse, réduction de pression de service, éventuelle réduction de la caractéristique de la pompe) afin de rester dans une plage proche du point de fonctionnement optimal ;
- S'assurer que les pertes de charge locales (vannes d'équilibrage, circuits longs, émetteurs éloignés) restent compatibles avec la pression disponible, sans obliger certains émetteurs à être fermés ou sous-alimentés.

Ce calage des caractéristiques débit-pression des pompes constitue un maillon essentiel entre le calcul des débits de référence et l'équilibrage réel du réseau. Il permet de garantir que l'équilibrage, une fois réglé, se tient dans de bonnes conditions de pression et de débit, tout en limitant la consommation électromécanique du circulateur et en préservant la stabilité du fonctionnement.

4.8.1. Autorité des vannes de régulation.

L'autorité d'une vanne constitue un paramètre essentiel pour garantir la stabilité de la régulation hydraulique.

Elle représente la part de perte de charge réellement absorbée par la vanne par rapport à la perte de charge totale du circuit.

Elle s'exprime par la relation :

$$a = \Delta P_v / (\Delta P_v + \Delta P_r)$$

Où :

- a représente l'autorité de vanne ;
- ΔP_v la perte de charge dans la vanne ;
- ΔP_r la perte de charge du reste du circuit.

Importance de l'autorité.

Une autorité insuffisante entraîne :

- Une régulation instable ;
- Des phénomènes de chasse ;
- Des variations brutales de débit ;
- Des oscillations thermiques ;
- Des difficultés de maintien des températures ambiantes.

Une autorité trop élevée conduit au contraire :

- À des pertes de charge inutiles ;
- À une surconsommation des circulateurs ;
- À une réduction de la plage utile de réglage.



En pratique, les valeurs généralement recherchées sont :

Type de vanne	Autorité recommandée
Robinet thermostatique	0,3 à 0,5
Vanne de régulation modulante	0,4 à 0,7
PICV	Autorité intégrée
Réseau très stable avec DPCV	$\geq 0,5$

Influence des circulateurs surdimensionnés.

Les circulateurs surdimensionnés augmentent fortement la pression différentielle disponible sur les vannes.

Cela provoque :

- Une diminution de l'autorité réelle ;
- Des bruits hydrauliques ;
- Une instabilité des TRV ;
- Des oscillations permanentes de régulation.

Les régulateurs de pression différentielle (DPCV) permettent précisément de stabiliser cette pression disponible afin de maintenir une autorité compatible avec le bon fonctionnement des organes terminaux.

4.8.2. Erreurs courantes d'équilibrage hydraulique.

De nombreuses installations présentent des dysfonctionnements non pas en raison d'un défaut de matériel, mais d'une incohérence globale de conception, de réglage ou d'exploitation.

Les erreurs les plus fréquentes sont les suivantes :

Surdimensionnement des circulateurs.

Conséquences :

- Surdébits ;
- Bruit hydraulique ;
- Consommation électrique excessive ;
- Instabilité des robinets thermostatiques.

Absence de régulateur de pression différentielle.

Conséquences :

- Fluctuations permanentes de pression ;
- Déséquilibres entre colonnes ;
- Instabilité des débits ;
- Difficultés de régulation.



Mauvais réglage des vannes.

Conséquences :

- Sous-débit des émetteurs défavorisés ;
- Surdébit en tête de réseau ;
- Écarts de température importants.

Confusion entre puissance et débit.

Une puissance élevée ne signifie pas automatiquement qu'un débit maximal est nécessaire en permanence.

Le débit de référence doit rester cohérent avec :

- Le régime nominal ;
- Le foisonnement ;
- La régulation dynamique ;
- Les conditions réelles d'exploitation.

Utilisation de la régulation pour compenser un déséquilibre hydraulique.

Cette erreur conduit généralement :

- À une augmentation excessive des températures de départ ;
- À une baisse du rendement des PAC ;
- À des surchauffes localisées ;
- À une surconsommation énergétique chronique.

Vitesses excessives dans les canalisations.

Conséquences :

- Bruit ;
- Érosion ;
- Instabilité hydraulique ;
- Difficultés de purge ;
- Augmentation des pertes de charge.

4.9. Suivi saisonnier et contrôle de stabilité.

L'équilibrage hydraulique ne se limite pas à une opération ponctuelle de mise en service. Il doit être suivi dans la durée, afin de vérifier la stabilité des conditions de fonctionnement.

- Un **carnet d'utilisation et d'entretien** doit conserver la trace des débits de référence, des températures mesurées, des réglages appliqués et des éventuelles modifications d'exploitation ;
- Un **contrôle saisonnier** (par exemple en début de saison froide, après des travaux, en cas de réclamation de confort) permet de détecter les dérives (dus à l'encrassement, à la corrosion, à des modifications de schéma hydraulique, à l'ajout ou au retrait d'émetteurs).

Ce suivi permet de distinguer ce qui relève d'une **dérive de réseau** (à corriger par entretien ou réajustement) de ce qui relève d'une **réorganisation des besoins** (réhabilitation, changement d'usage, modifications d'isolations ou de menuiseries), qui impose éventuellement une **nouvelle détermination des débits de référence**.



4.10. Synthèse de la mise en œuvre.

La mise en œuvre de l'équilibrage hydraulique consiste donc à :

- Préparer le réseau et recueillir les données de calcul ;
- Mesurer et ajuster les débits en fonction des débits de référence déterminés à partir des déperditions, de la température d'entrée effective et des contraintes de distribution ;
- Vérifier la cohérence entre températures et débits, et s'assurer que la chute de température de distribution et les apports locaux sont pris en compte ;
- Suivre et maintenir la stabilité de l'équilibrage dans le temps, en intégrant la qualité de l'eau et les évolutions du bâtiment.

Cette démarche, appuyée sur les bases posées dans les parties 1 à 3, permet de garantir à la fois le confort thermique, la stabilité des températures, et une utilisation optimale de l'énergie, sans chercher à compenser par la régulation ce qui aurait dû être réglé à l'échelle du réseau.

Conclusion des parties 1 à 4.

L'équilibrage hydraulique n'est pas une opération de précision mathématique absolue, mais une démarche d'ingénierie pragmatique. Il consiste à déterminer des débits de référence cohérents, à les traduire en réglages stables et à laisser à la régulation le soin de gérer les variations inévitables du bâtiment.

Le coefficient de foisonnement, les critères de sélection des perturbations et la prise en compte des contraintes du réseau constituent les trois piliers d'une approche réaliste et durable.

Au-delà des analyses classiques, les opérations d'équilibrage de qualité réalisées avec les technologies actuelles (2026) apportent des gains d'exploitation substantiels, particulièrement adaptés aux bâtiments à haute performance énergétique (RE2020, labels BBC rénovation, tertiaire performant).

Bénéfices économiques de l'équilibrage hydraulique moderne.

L'équilibrage précis permet une **réduction de 15 à 30% de la facture énergétique annuelle** dans les installations collectives modernes, grâce à plusieurs leviers complémentaires :

- **Optimisation des pompes à vitesse variable** : fonctionnement au point de charge optimal, avec économies électriques de 50 à 70% sur les circulateurs ;
- **Réduction des températures de départ** : passage de 70°C à 55-60°C en régime nominal, compatible avec les PAC et chaudières à condensation, augmentant leur rendement de 10-15% ;
- **Élimination des appareils d'appoint électriques** : suppression des convecteurs d'appoint (1-2 kW/local), économisant 5-10% de la consommation globale ;
- **Stabilisation de la régulation** : limitation des cycles de surchauffe/sous-chauffe, avec réduction des pointes de puissance et meilleure intégration des stratégies d'abaissement nocturne.

Dans les immeubles de logements rénovés (isolation renforcée, maintien des émetteurs existants), un équilibrage méthodique tel que décrit dans ce document permet de **diviser par 2 les temps de retour sur investissement** (6-18 mois), en évitant les surdimensionnements compensatoires et en optimisant les systèmes modernes (PAC).

Sur le plan de l'exploitation courante, l'équilibrage de qualité réduit les interventions techniques (réglages locaux, purges répétées, désembouage fréquent) de **40 à 60%**, et prolonge la durée de vie des émetteurs et vannes grâce à une circulation homogène sans vitesses excessives en tête de réseau.

Enfin, dans un contexte de tarification dynamique de l'énergie et de contraintes croissantes, cet équilibrage assure une **maîtrise fine des puissances sous-jacentes**, limitant les pics de consommation et facilitant l'intégration de production renouvelable (PAC, solaire thermique), avec des gains économiques directs de 20% sur les coûts d'exploitation annuelle.



Bénéfices techniques et d'exploitation de l'équilibrage méthodique.

Ces techniques de détermination rigoureuse des paramètres d'équilibrage hydraulique apportent une valeur ajoutée stratégique au-delà des simples économies d'énergie. Elles permettent de **mettre en évidence les imperfections thermiques** du bâtiment (ponts thermiques résiduels, défauts d'isolation, menuiseries mal caractérisées) et surtout de fournir les **données essentielles à la mise au point complète des installations**.

La méthodologie exposée constitue ainsi un **outil diagnostic intégré** qui alimente directement :

- Le **calage précis des courbes de régulation automatique**, en distinguant les besoins réels des artefacts de déséquilibre hydraulique.
- La **vérification de la capacité en eau** du réseau et l'ajustement des pressions de service des circulateurs.
- L'**optimisation des stratégies de modulation** (abaissement nocturne, relance, modes réduits) pour une répartition homogène des températures opératives.

Ces éléments convergents participent à la **création du passeport hydraulique de l'installation**, document opérationnel structuré qui recense :

- Les débits de référence validés par mesures ;
- Les températures effectives d'alimentation par émetteur/zone ;
- Les courbes de fonctionnement optimisées (température de départ vs extérieure) ;
- Les caractéristiques hydrauliques du réseau (pertes de charge, autorités des vannes, débit global optimal) ;
- Les indicateurs de suivi (consommations par zone, ΔT mesurées, pressions critiques).

Ce passeport devient alors l'**instrument de référence pour le suivi dans le temps**, permettant :

- Le **maintien du meilleur niveau de service** par diagnostic précoce des dérives (encrassement, fuite, modification d'usage) ;
- L'**accompagnement des évolutions** (réhabilitation complémentaire, changement de source d'énergie, ajout de régulation) ;
- La **traçabilité réglementaire** (audits énergétiques, DPE diagnostic de performance énergétique, obligations RE2020).

Ainsi, l'équilibrage de qualité n'est pas une opération ponctuelle, mais le point de départ d'une **gestion patrimoniale active** de l'installation CVC, assurant performance énergétique, confort durable et pérennité économique sur l'ensemble du cycle de vie du bâtiment.



Partie 5. Régulation et programmation du fonctionnement.

5.1. Objet de la partie.

Les parties précédentes ont permis de définir les débits de référence, d'analyser les contraintes du réseau hydraulique et de décrire la mise en œuvre pratique de l'équilibrage.

Toutefois, une installation de chauffage à eau chaude ne fonctionne jamais en régime permanent strict. Les besoins thermiques varient en permanence sous l'effet des conditions climatiques, des apports internes, de l'occupation, des comportements des usagers et des stratégies d'exploitation.

La présente partie a pour objet de définir le rôle précis de la régulation et de la programmation, en établissant une distinction claire et opérationnelle entre :

- Le réglage hydraulique de référence (débits fixes ou dynamiques) ;
- L'adaptation dynamique de la puissance (régulation thermique et temporelle).

Cette distinction est essentielle : un bon équilibrage hydraulique est la condition nécessaire, mais non suffisante, d'une régulation performante. Sans débits de référence stables et correctement répartis, aucune régulation, même la plus sophistiquée, ne peut garantir confort homogène et efficacité énergétique.

5.2. Principes fondamentaux de la régulation.

La régulation thermique vise à adapter en permanence la puissance émise aux besoins réels du bâtiment. Elle agit sur deux variables principales :

- La température de départ du réseau (action globale sur l'ensemble de l'installation) ;
- La répartition instantanée des débits (action locale via les organes terminaux : vannes, robinets thermostatiques ou vannes PICV).

5.2.1. Principe d'indépendance fonctionnelle.

Règle fondamentale (à graver) : La régulation ne corrige pas un déséquilibre hydraulique.

- L'équilibrage (statique ou dynamique avec DPCV/PICV) fixe une distribution correcte des débits de référence.
- La régulation module la puissance fournie autour de ce point d'équilibre.

Toute tentative de compensation d'un déséquilibre par la seule régulation entraîne :

- Une élévation inutile des températures de départ ;
- Une dégradation du rendement des générateurs (PAC, chaudières à condensation) ;
- Des écarts de confort importants entre locaux ;
- Une surconsommation énergétique chronique.

Exemple concret : un appartement sous-alimenté en débit ne sera jamais rattrapé par une hausse de la température de départ ; il restera froid tandis que les autres locaux surchauffent. Ce phénomène est particulièrement visible en présence d'un coefficient de foisonnement mal maîtrisé ou d'un réseau sans DPCV.



5.3. Régulation en fonction de la température extérieure (loi d'eau).

5.3.1. Formulation générale de la loi d'eau.

La régulation climatique repose sur l'adaptation linéaire (ou courbe) de la température de départ à la température extérieure instantanée :

où :
$$T_{\text{départ}} = T_{\text{départ,base}} + p \cdot (T_{\text{base}} - T_{\text{ext}}) + \text{Offset}$$

- $T_{\text{départ,base}}$: température de départ au point de base (généralement la température extérieure de dimensionnement) ;
- T_{base} : température extérieure de dimensionnement (ex. : -2 °C ; -7 °C selon zone climatique) ;
- T_{ext} : température extérieure instantanée (mesurée ou anticipée) ;
- p : pente de la loi d'eau (dimension sans unité, typiquement 0,8 à 1,5) ;
- Offset : correction d'exploitation (occupation, dérive, anticipation).

Interprétation physique :

- La pente p traduit la sensibilité thermique globale du bâtiment + émetteurs ;
- $T_{\text{départ,base}}$ représente la température maximale nécessaire en conditions de calcul ;
- L'Offset permet un ajustement fin (ex. : +2 °C pour compenser une inertie forte ou une occupation particulière).

Tableau des pentes d'émission selon les émetteurs.

Type d'émetteur	Mode dominant	Pente d'émission (n)
Radiateur fonte (ancien, massif)	Rayonnement + convection	1.3 à 1.5
Radiateur acier panneau (type panneau)	Convection + rayonnement	1.2 à 1.35
Radiateur aluminium	Convection dominante	1.2 à 1.3
Convecteur naturel	Convection naturelle	1.2 à 1.3
Ventilo-convecteur (faible vitesse)	Convection forcée modérée	1.0 à 1.2
Ventilo-convecteur (haute vitesse)	Convection forcée forte	0.9 à 1.1
Plancher chauffant	Rayonnement dominant	1.0 à 1.1
Plafond chauffant	Rayonnement dominant	1.0 à 1.1
Mur chauffant	Rayonnement dominant	1.0 à 1.1
Aérotherme	Convection forcée	0.8 à 1.0
Batterie chaude CTA	Convection forcée	0.8 à 1.0



5.3.2. Exemple technique complet – Logement collectif rénové avec PAC.

Données de base :

- Logement collectif rénové ;
- Émetteurs : radiateurs existants conservés ;
- Production : PAC air/eau basse température ;
- $T_{\text{base}} = -2^{\circ}\text{C}$;
- $T_{\text{int}} = 20^{\circ}\text{C}$;
- Puissance nominale par appartement : 2 400 W ;
- ΔT : 12 K ;
- Débit nominal (sans foisonnement) : 206 kg/h ;
- $T_{\text{départ,base}} = 45^{\circ}\text{C}$ (initial) ;
- Pente initiale : $p = 1,2$.

Situation réelle : $T_{\text{ext}} = -8^{\circ}\text{C}$ (pic de froid).

Calcul étape par étape :

1. Écart climatique :

$$\Delta\theta = T_{\text{base}} - T_{\text{ext}} = -2 - (-8) = 6 \text{ K}$$

2. Température de départ (pente initiale) :

$$\begin{aligned} T_{\text{départ}} &= 45 + 1,2 \times 6 \\ &= 45 + 7,2 \\ &= 52,2^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

3. Température de retour :

$$\begin{aligned} T_{\text{retour}} &= T_{\text{départ}} - \Delta T \\ &= 52,2 - 12 \\ &= 40,2^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

4. Puissance réellement émise (vérification) :

$$\begin{aligned} Q &= \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T_Q \\ &= 2\,870 \text{ W} \end{aligned}$$

avec $\dot{m} = 206 \text{ kg/h}$; $0,0572 \text{ kg/s}$; $c_p \approx 4\,180 \text{ J/kg}$:

$$Q = 0,0572 \times 4\,180 \times 12 \approx 2\,870 \text{ W}$$

Surpuissance de +470 W par rapport au besoin nominal (2 400 W).

Conséquence : surconsommation et COP dégradé.

5. Impact sur la PAC :

$$\text{COP à } 45 \approx 3,5.$$

$$\text{COP à } 52,2^{\circ}\text{C} \approx 2,8. \text{ Perte de performance} \approx 20 \text{ \%}.$$

Correction par ajustement de la pente (méthode recommandée) :



Nouvelle pente $p = 0,9$.

6. Nouvelle température de départ :

$$T_{\text{départ}} = 45 + 0,9 \times 6$$

$$= 45 + 5,4$$

$$= 50,4^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{retour}} = 50,4 - 12 = 38,4^{\circ}\text{C}.$$

7. Nouvelle puissance émise (approximation linéaire) : toujours $\approx 2\,870\text{ W}$, mais la loi d'émission des radiateurs (exposant $n \approx 1,2$) fait que la puissance réelle diminue légèrement et se rapproche des $2\,400\text{ W}$ nécessaires.

Résultat : meilleure adéquation puissance/besoin, TRV plus stables, COP amélioré, confort homogène.

Condition indispensable : cette optimisation n'est possible que si les débits de référence sont correctement équilibrés et les DPCV (ou PICV) assurent la stabilité hydraulique. Sinon, les locaux défavorisés restent sous-chauffés.

5.4. Programmation du fonctionnement (modes et relance).

La programmation adapte le fonctionnement aux cycles d'occupation :

- Mode confort (température de consigne usuelle) ;
- Mode réduit / abaissement (ex. : 17°C la nuit) ;
- Mode relance (après abaissement ou inoccupation).

Point critique : interaction avec l'inertie thermique du bâtiment.

- Bâtiment léger (ossature bois, isolation intérieure) $\rightarrow$ réponse rapide (1–2 h) ;
- Bâtiment lourd (béton, plancher chauffant) $\rightarrow$ nécessité d'anticipation (optimiseur de relance).

Optimiseur de relance (fortement recommandé dans les stratégies de régulation performantes compatibles RE2020) : calcule le temps de montée en température en fonction de l'inertie du bâtiment, de la température extérieure et de la température ambiante mesurée.

Formule simplifiée d'anticipation :

$$t_{\text{relance}} = k \cdot \frac{T_{\text{confort}} - T_{\text{ambiante actuelle}}}{T_{\text{départ max}} - T_{\text{retour}}}$$

Le coefficient k (en $\text{h}/^{\circ}\text{C}$) est le **coefficient d'inertie thermique global** du bâtiment ou de la zone. Il représente le temps nécessaire pour faire varier la température intérieure de 1°C lorsque le système délivre sa puissance utile maximale.

Détermination de k avec la meilleure précision :

- **Méthode recommandée (la plus précise)** : mesure in situ (baisse de consigne de $3\text{--}5^{\circ}\text{C}$ puis relance en enregistrant le temps réel et la puissance délivrée).
- **Meilleure précision** : simulation thermique dynamique.
- **Approche simplifiée** : valeurs typiques selon type de construction (voir Annexe 3 - Glossaire).



Méthode simplifiée par type de construction (valeurs typiques).

Type de bâtiment / émetteur	Valeur typique de k (h/°C)	Précision estimée
Maison ossature bois légère, radiateurs	0,4 – 0,8	±25 %
Appartement en maçonnerie avec isolation intérieure	0,9 – 1,4	±20 %
Immeuble béton lourd + radiateurs	1,5 – 2,0	±15 %
Plancher chauffant basse température	2,0 – 3,0	±12 %
Plafond rayonnant ou dalle active	2,5 – 4,0	±15 %

Ces valeurs sont à utiliser uniquement pour une première approche ou lorsque la mesure est impossible.

Méthode théorique (pour un calcul rapide).

Si vous connaissez la capacité thermique du bâtiment :

$$C_{th} = \sum (m_i \cdot c_{p,i}) \quad (\text{Wh}/^{\circ}\text{C})$$

où :

m_i = masse des matériaux (kg)

$c_{p,i}$ = capacité calorifique massique (Wh/kg.°C).

Puis :

$$k = \frac{C_{th}}{P_{utile}} \quad (\text{h}/^{\circ}\text{C})$$

Exemple concret :

Un appartement de 80 m² en béton (masse thermique effective $\approx 120 \text{ Wh}/^{\circ}\text{C}\cdot\text{m}^2$)

- $C_{th} \approx 9\,600 \text{ Wh}/^{\circ}\text{C}$;
- Puissance utile = 2 400 W ;
- $K = 9600 / 2400 = 4 \text{ h}/^{\circ}\text{C}$ (très lourde inertie).

Dans les règles Th-Bat (méthode de calcul thermique officielle française), la classification d'inertie est donnée par la **masse surfacique équivalente** (en kg/m²), mais les logiciels de calcul utilisent surtout la **capacité thermique effective surfacique** C_{th} exprimée en **Wh/m²·K**.



Tableau de correspondance (valeurs typiques et plages utilisées en pratique) :

Classe d'inertie	Masse surfacique équivalente (kg/m ²)	Capacité thermique effective typique C _{th} (Wh/m ² ·K)	Plage couramment retenue	Construction typiques
Très légère	≤ 149	40 – 80	< 80	Ossature bois légère, maisons à ossature métallique, isolation intérieure dominante
Légère	150 – 249	80 – 150	80 – 150	Maçonnerie légère (parpaings creux + isolation intérieure), cloisons légères
Moyenne	250 – 399	150 – 250	150 – 250	Béton armé classique, murs porteurs en parpaings pleins + dalle béton
Lourde	≥ 400	≥ 250 (souvent 250 – 400+)	> 250	Dalle béton épaisse, murs en béton banché, planchers lourds, bâtiments en maçonnerie massive

5.5. Régulation par thermostat d'ambiance programmable (maisons et appartements à chauffage individuel).

Dans les logements individuels (maisons ou appartements avec chaudière ou PAC individuelle), la régulation la plus courante et la plus efficace est le thermostat d'ambiance programmable, placé dans la pièce de vie principale. Il mesure la température ambiante et pilote directement la chaudière ou la PAC (marche/arrêt ou modulation) en fonction du programme horaire.

5.5.1. Principe de fonctionnement.

Le thermostat compare la température ambiante mesurée à la consigne programmée et commande le générateur en conséquence. Il intègre généralement un programme hebdomadaire, une fonction réduction et une fonction relance anticipée.

5.5.2. Incompatibilité avec les robinets thermostatiques (TRV) dans la même pièce.

Il est formellement déconseillé d'installer un thermostat d'ambiance et des robinets thermostatiques dans la même pièce.

Pourquoi cette incompatibilité ?

Lorsque les deux dispositifs cohabitent dans un même local :

- Le robinet thermostatique (TRV) agit localement sur le débit du radiateur en fonction de la température ambiante perçue près du radiateur. Dès que la température ambiante atteint la consigne du TRV, celui-ci ferme presque totalement le passage d'eau ;
- Le thermostat d'ambiance, placé ailleurs dans la pièce, continue de mesurer une température légèrement différente (effet de stratification, position éloignée du radiateur, inertie). Si elle est encore inférieure à sa propre consigne, il continue de demander de la chaleur au générateur.



Conséquences directes :

- Conflit permanent : le TRV ferme tandis que le thermostat d'ambiance demande encore de la chaleur → le générateur continue de fonctionner inutilement ;
- Cycles courts et fréquents du générateur (on/off répétés) → usure prématurée, surconsommation, bruit et dégradation du COP des PAC ;
- Surchauffe locale près du radiateur et sous-chauffe dans le reste de la pièce (ou l'inverse selon les positions) ;
- Perte d'efficacité globale : le système ne peut plus maintenir une température stable et homogène.

Règle pratique recommandée :

- Avec robinets thermostatiques : on utilise uniquement la régulation climatique (loi d'eau en fonction de la température extérieure) ou un régulateur central. Les TRV assurent alors le contrôle pièce par pièce ;
- Avec thermostat d'ambiance seul : on ne pose pas de TRV (ou on les bloque en position totalement ouverte) pour éviter tout conflit.

Cette incompatibilité est bien connue des installateurs et des fabricants ; elle est explicitement mentionnée dans les notices de la plupart des thermostats et des têtes thermostatiques. Dans une maison à plusieurs pièces, il est cependant possible de combiner un thermostat d'ambiance dans la pièce principale avec des TRV dans les pièces secondaires, à condition que les débits soient équilibrés et que la loi d'eau soit correctement paramétrée.

5.5.3. Thermostats connectés (smart thermostats) - Avantages et inconvénients.

Avantages :

- Économies de 10 à 25 % supplémentaires par rapport à un thermostat programmable classique ;
- Géolocalisation automatique (geofencing) via smartphone ;
- Apprentissage automatique des habitudes des occupants ;
- Contrôle à distance via application ;
- Intégration domotique (Alexa, Google Home, Apple HomeKit, Matter) ;
- Rapports de consommation détaillés et alertes (fenêtre ouverte, etc.) ;
- Anticipation météo en temps réel.

Inconvénients :

- Coût initial plus élevé (150 à 350 € contre 40 à 80 € pour un modèle classique) ;
- Dépendance à la connexion Internet (bascule en mode basique en cas de panne) ;
- Confidentialité des données (géolocalisation et habitudes de vie) ;
- Compatibilité variable avec certains générateurs (module fil pilote parfois nécessaire) ;
- Complexité pour les utilisateurs non technophiles.



5.6. Gestion des apports solaires et nécessité d'un zonage hydraulique.

Dans les bâtiments comportant des façades à fort ensoleillement (sud, sud-ouest, est) opposées à des façades ombragées (nord, nord-est, ou masquées par des bâtiments adjacents), les apports solaires créent un déséquilibre thermique majeur et quasi permanent.

- Les apports solaires peuvent atteindre 200 à 400 W/m² sur une façade sud ensoleillée (selon latitude, saison et inclinaison), tandis que la façade nord reçoit moins de 50 W/m².
- En mi-saison ou en période de transition, ces gains gratuits peuvent représenter 30 à 60 % des besoins thermiques d'un local exposé, alors que les locaux ombragés conservent des déperditions quasi nominales.
- Sans zonage hydraulique, la loi d'eau unique (basée sur une température extérieure moyenne) ne peut satisfaire simultanément les deux orientations : soit les locaux ensoleillés surchauffent (TRV ferment, gaspillage), soit les locaux ombragés restent sous-chauffés.
- La régulation seule (thermostats ou loi d'eau) ne suffit pas : elle ne modifie pas la répartition hydraulique du fluide caloporteur. Un débit unique circulant dans tout le réseau ne permet pas d'apporter plus de puissance là où elle est nécessaire ni de la réduire là où les apports solaires la rendent superflue.

Conséquence directe : Sans réseau de distribution hydraulique organisé (boucles séparées par orientation ou par zone, vannes de réglage, DPCV/PICV par branche), la régulation devient inefficace, le confort inégal et la consommation énergétique inutilement élevée (jusqu'à +15 à 25 % selon études RE2020).

Solution quasi impérative : La création d'un réseau de distribution hydraulique zoné devient un impératif technique pour organiser correctement la régulation de l'ensemble du bâtiment. Cela passe par :

- Des colonnes ou boucles indépendantes par orientation ;
- Des vannes PICV ou DPCV par zone permettant un débit variable et autonome ;
- Une régulation climatique par zone (plusieurs courbes de chauffe possibles) ;
- Des TRV ou thermostats locaux qui peuvent alors agir efficacement sans conflit.

Ce zonage hydraulique est aujourd'hui exigé ou fortement recommandé dans les bâtiments à forte hétérogénéité d'exposition (RE2020, DTU 65.3, guides CEREMA).

5.7. Régulation des systèmes à très basse température et émetteurs rayonnants.

Les planchers chauffants, plafonds rayonnants et batteries à basse température exigent une régulation spécifique :

- Inertie élevée → optimiseur de relance obligatoire et anticipation plus longue ;
- ΔT faible (5 à 8 K) → sensibilité accrue aux variations de débit ; les DPCV deviennent indispensables ;
- Régulation par température de retour souvent préférée pour les PAC afin d'optimiser le COP ;
- Limitation de la température de surface (≤ 29 °C pour planchers) imposée par la norme NF EN 1264.

La régulation doit intégrer ces contraintes pour éviter les phénomènes de stratification ou de surchauffe locale.



5.7. Équilibrage hydraulique et pompes à chaleur modernes.

Les pompes à chaleur modernes imposent des exigences hydrauliques particulièrement importantes.

Contrairement aux anciennes chaudières haute température, les PAC fonctionnent avec :

- Des températures de départ plus faibles ;
- Des débits plus variables ;
- Des écarts de température souvent réduits ;
- Des circulateurs électroniques modulants ;
- Des régulations fortement dynamiques.

Dans ce contexte, un déséquilibre hydraulique entraîne rapidement :

- Une baisse du COP ;
- Des cycles courts ;
- Des défauts de débit ;
- Des instabilités de température ;
- Des limitations de puissance.

L'équilibrage hydraulique devient alors un élément déterminant de la performance énergétique globale.

Particularités des installations PAC

Les installations équipées de PAC nécessitent généralement :

- Des réseaux à faibles pertes de charge ;
- Des vitesses modérées ;
- Des circulateurs à vitesse variable ;
- Des vannes à bonne autorité ;
- Des températures de retour basses ;
- Une excellente stabilité de débit.

Les écarts de fonctionnement admissibles deviennent beaucoup plus faibles qu'avec des chaudières classiques haute température.

5.7.1. Importance du ΔT sur les PAC.

Le maintien d'un écart de température cohérent entre départ et retour constitue un paramètre essentiel du rendement des PAC.

Une diminution excessive du ΔT conduit généralement :

- À une augmentation des débits ;
- À une hausse des consommations électriques des circulateurs ;
- À une réduction du rendement global ;
- À une dégradation du fonctionnement des échangeurs.



Inversement, un ΔT trop important peut provoquer :

- Des insuffisances de puissance ;
- Des écarts de température ambiante ;
- Des difficultés de régulation.

Le choix du ΔT optimal dépend :

- Du type de PAC ;
- Du type d'émetteur ;
- Du régime de température ;
- De la stratégie de régulation.

5.7.2. Intégration des systèmes intelligents et supervision.

Les installations modernes associent désormais :

- Équilibrage hydraulique ;
- Régulation communicante ;
- Supervision énergétique ;
- Instrumentation permanente ;
- Analyse de données.

Les systèmes communicants permettent :

- Le suivi des températures ;
- L'analyse des débits ;
- La détection des dérives ;
- L'optimisation des courbes de chauffe ;
- La maintenance prédictive.

Ces outils transforment progressivement l'installation de chauffage en système piloté et instrumenté.

5.7.3. Passeport hydraulique de l'installation.

L'ensemble des données issues :

- Des calculs thermiques ;
- De l'équilibrage ;
- Des mesures hydrauliques ;
- De la régulation ;
- De l'exploitation,

Peut-être regroupé dans un véritable :

Passeport hydraulique de l'installation

Ce document constitue la carte d'identité technique du réseau.



Il peut notamment intégrer :

- Les débits de référence ;
- Les réglages des vannes ;
- Les caractéristiques des circulateurs ;
- Les courbes de fonctionnement ;
- Les températures mesurées ;
- Les pertes de charge ;
- Les coefficients de foisonnement ;
- Les historiques d'exploitation ;
- Les indicateurs énergétiques.

Ce passeport permet :

- Le suivi dans le temps ;
- L'aide à la maintenance ;
- La traçabilité des réglages ;
- L'optimisation énergétique continue ;
- L'accompagnement des rénovations futures.

Il constitue également une base particulièrement pertinente pour l'intégration d'outils logiciels de supervision, d'analyse et d'assistance au diagnostic.

5.8. Intégration avec la qualité de l'air intérieur et la ventilation.

La régulation moderne intègre souvent les données de CO₂, humidité et VOC pour :

- Moduler le débit de ventilation double flux en fonction de l'occupation ;
- Ajuster la température de départ lorsque la ventilation augmente les déperditions ;
- Éviter les surchauffes en période de fort renouvellement d'air.

Cette approche « tout confort » (température + qualité de l'air) est désormais exigée en RE2020 pour les bâtiments tertiaires et recommandée en résidentiel.

5.9. Suivi, diagnostic et maintenance prédictive.

Les systèmes de régulation connectés fournissent aujourd'hui des données exploitables pour :

- Détecter les dérives (encrassement, fuite, TRV bloqué) ;
- Générer des alertes automatiques (baisse de débit, ΔT anormal) ;
- Planifier la maintenance préventive via GTB ou webservice.

Le suivi continu transforme la régulation en outil de diagnostic permanent.



5.10. Dispositifs avancés (2026).

Dispositif	Fonction principale	Avantage principal	Condition de succès
Optimiseur de relance	Calcul anticipé du démarrage	Économie 10–20 % sur relances	Débits équilibrés + DPCV
Régulation auto-adaptative	Ajuste pente et Offset en continu	Auto-apprentissage du bâtiment	Capteurs de température ambiante
Vannes thermostatiques intelligentes (TRV connectés)	Régulation locale + feedback température	Confort pièce par pièce	Débit de référence stable
GTB/GTC avec IA	Pilotage multi-zones + optimisation globale	Réduction 15–30 % consommation globale	Réseau hydraulique parfaitement équilibré
Régulation prédictive (IoT + météo)	Anticipation sur prévisions météo	Meilleure intégration des apports gratuits	Débit de référence + coefficient de foisonnement

5.11. Cadre réglementaire (état exhaustif au 18 avril 2026, avec prévisions).

Le cadre réglementaire français en matière de régulation thermique et de programmation des installations de chauffage à eau chaude est issu de la RE2020 (pour le neuf), de la RT Existant (pour l'existant), du Décret tertiaire et de la transposition progressive de la directive européenne EPBD révisée (UE 2024/1275).

Au 18 avril 2026, les principales évolutions récentes sont :

- Le report de l'obligation de thermostat programmable à 2030 pour les bâtiments existants (décret n°2025-1343 du 26 décembre 2025) ;
- L'extension de la RE2020 aux bâtiments tertiaires spécifiques, industriels et artisanaux à compter du 1er mai 2026 (décret n°2026-16 du 15 janvier 2026) ;
- La transposition de l'EPBD révisée qui doit être achevée au plus tard le 29 mai 2026.



Le tableau ci-dessous présente un état exhaustif et actualisé par catégorie de bâtiment.

Cas de figure	Réglementation principale	Obligations de réglementation programmation	Date d'application (avril 2026)	Prévisions à venir (2026-2030)	Références principales
Bâtiments neufs (logements et tertiaire)	RE2020 (Réglementation Environnementale 2020)	Régulation automatique par pièce ou par zone (thermostat ou TRV + loi d'eau) Programmation horaire Optimiseur de relance Régulation climatique (loi d'eau)	Immédiate (permis déposés depuis 2022)	Extension progressive aux bâtiments tertiaires spécifiques (santé, industrie, commerce) au 1er mai 2026. Renforcement des seuils carbone et Bbio en 2028-2030.	Décret n°2026-16 du 15/01/2026 + arrêtés associés
Bâtiments existants (résidentiel et tertiaire)	RT Existant + Décret n°2023-444 modifié par n°2025-1343	- Thermostat programmable ou système équivalent (par pièce ou par zone) obligatoire - Programmation horaire - Calorifugeage des réseaux	Reporté au 1er janvier 2030 pour les existants (2027 pour le neuf)	Transposition EPBD : plan national de rénovation des bâtiments (NBRP) à remettre fin 2026. Trajectoires de rénovation progressive des bâtiments les plus énergivores (classes F/G).	Décret n°2025-1343 du 26/12/2025 + Code de l'énergie art. R.241-6
Réhabilitation thermique (travaux sur existant)	RT Existant « élément par élément » ou « globale » (selon surface et ampleur des travaux) + obligations « travaux embarqués »	Régulation automatique + programmation obligatoire dès remplacement du générateur ou travaux importants DPCV/PICV fortement recommandés (stabilité hydraulique) Loi d'eau + TRV ou thermostat par zone Isolation des réseaux (calorifugeage)	Dès le remplacement ou les travaux significatifs	Obligation renforcée de DPCV/PICV et de comptage individuel dans les copropriétés lors de rénovations globales (transposition EPBD). Trajectoire MEPS (Minimum Energy Performance Standards) pour les bâtiments F/G d'ici 2030-2033.	Arrêté du 3 mai 2007 modifié + arrêté du 13 juin 2008 + Décret tertiaire
Bâtiments tertiaires > 70 kW (bureaux, commerces, etc.)	Décret tertiaire + BACS (Building Automation and Control Systems)	- Système d'automatisation et de contrôle (BACS) obligatoire - Régulation par zone + monitoring énergétique	Reporté au 1er janvier 2030 pour existants (2027 pour neuf)	Plan national de rénovation des bâtiments (NBRP) fin 2026 réduction de 40 % en 2030, 50 % en 2040, 60 % en 2050.	Décret n°2025-1343 + Code de la construction art. R.175-2



Points clés à retenir en avril 2026 :

- L'obligation de thermostat programmable n'est plus à 2027 pour les bâtiments existants (report à 2030).
- La RE2020 s'élargit significativement aux bâtiments tertiaires non résidentiels à partir du 1er mai 2026.
- La transposition de l'EPBD révisée (29 mai 2026) va imposer des plans nationaux de rénovation ambitieux et des exigences de performance minimale (MEPS) pour les bâtiments les plus énergivores.
- Les DPCV et PICV ne sont pas encore rendus obligatoires par un texte unique, mais ils deviennent de facto indispensables dans toute réhabilitation ou installation neuve pour respecter les exigences de stabilité hydraulique et de régulation par zone.

5.12. Synthèse.

La régulation constitue le prolongement dynamique de l'équilibrage hydraulique. Elle permet :

- L'adaptation aux conditions réelles (climatiques, occupation, apports) ;
- L'optimisation énergétique (COP, réduction des températures) ;
- Le maintien d'un confort homogène et personnalisé.

Son efficacité dépend directement de :

- La qualité des débits de référence (Parties 1 à 4) ;
- La stabilité hydraulique (DPCV/PICV) ;
- La cohérence entre réglage hydraulique et loi d'eau.

Sans un équilibrage préalable rigoureux, même la régulation la plus sophistiquée (IA, GTB, TRV connectés) ne pourra jamais compenser un réseau mal équilibré. À l'inverse, un réseau hydrauliquement parfait + une régulation bien paramétrée permet aujourd'hui d'atteindre des économies de 15 à 30 % par rapport à une installation simplement « équilibrée » des années 2000.



Partie 6. Contribution de la débimétrie à l'équilibrage et au suivi des installations.

6.1. Objet de la partie.

Les parties précédentes ont permis :

- De définir les débits de référence ;
- D'analyser les contraintes thermiques et hydrauliques des réseaux ;
- De décrire la mise en œuvre pratique de l'équilibrage ;
- De préciser le rôle de la régulation et de la programmation.

La présente partie a pour objet de définir le rôle de la débimétrie dans le fonctionnement réel des installations de chauffage à eau chaude.

Au-delà de la seule mesure des consommations, la débimétrie constitue aujourd'hui un outil d'analyse et de diagnostic permettant :

- De vérifier la cohérence du fonctionnement hydraulique ;
- D'identifier les dérives d'exploitation ;
- D'améliorer la compréhension des usages ;
- De faciliter le suivi énergétique des bâtiments ;
- D'apporter des informations exploitables pour la maintenance et l'optimisation des réglages.

Dans les installations modernes équipées de dispositifs de régulation dynamique, la débimétrie contribue ainsi directement à la stabilité de l'équilibrage hydraulique et à l'amélioration de l'efficacité énergétique globale.

6.2. Champ d'application de la débimétrie.

La débimétrie peut être appliquée à plusieurs niveaux d'une installation :

- Au niveau du bâtiment ;
- Au niveau des colonnes ou des circuits ;
- Au niveau des logements ;
- Au niveau des émetteurs terminaux.

Son intérêt devient particulièrement important dans les installations collectives à réseaux verticaux, où les déséquilibres hydrauliques, les différences d'usage et les écarts de température entre logements rendent l'analyse des performances plus complexe.

6.2.1. Réseaux électriques.

Dans le domaine du chauffage électrique, le relevé individualisé des consommations constitue depuis longtemps un outil reconnu permettant :

- D'analyser la consommation globale ;
- D'identifier les usages par émetteur ;
- De sensibiliser les occupants à leurs consommations réelles.

Cette logique d'analyse énergétique individualisée tend aujourd'hui à se développer également dans les réseaux hydrauliques.



6.2.2. Réseaux de chauffage à eau chaude.

a) Comptage d'énergie sur réseaux horizontaux.

Dans les installations horizontales par logement, les compteurs d'énergie thermique permettent :

- L'analyse des consommations individuelles ;
- Le suivi des performances du réseau ;
- L'identification des écarts entre logements ;
- L'individualisation des frais de chauffage.

Ces dispositifs apportent une vision globale de l'énergie consommée par zone ou par appartement.

b) Débitmétrie intégrée aux émetteurs.

Les technologies récentes de débitmétrie intégrée aux organes terminaux (vannes ou têtes thermostatiques intelligentes) permettent désormais une analyse beaucoup plus fine du fonctionnement réel des installations.

Cette approche rend possible :

- L'analyse pièce par pièce ;
- Le suivi par radiateur ;
- La détection des anomalies de fonctionnement ;
- L'identification des défauts d'équilibrage ;
- Une meilleure compréhension des comportements d'usage.

Elle constitue également une source d'informations particulièrement pertinente dans les bâtiments rénovés conservant des réseaux ou des émetteurs existants.

6.3. Principe général de la débitmétrie.

Le principe repose sur la mesure :

- Du débit traversant l'émetteur ;
- De la température aller ;
- De la température retour.

L'énergie réellement transmise peut alors être déterminée à partir de la relation :

$$Q = \dot{m} \times c_p \times \Delta T$$

Où :

- Q représente la puissance thermique ;
- $\dot{m}$ le débit massique ;
- c_p la capacité calorifique de l'eau ;
- ΔT l'écart de température entre départ et retour.

Cette mesure permet de relier directement le comportement thermique réel du bâtiment aux conditions hydrauliques de fonctionnement.



6.4. Apports de la débitmétrie à l'équilibrage hydraulique.

Sans dispositif de mesure, l'analyse de fonctionnement repose principalement sur :

- Les hypothèses de calcul ;
- Les températures mesurées ;
- Les réclamations de confort ;
- La consommation énergétique globale.

La débitmétrie apporte au contraire une vision dynamique et objectivée du fonctionnement réel du réseau.

Elle permet notamment :

- Le suivi continu des débits par émetteur ou par zone ;
- La comparaison entre débit théorique et débit réel ;
- L'analyse des comportements de régulation ;
- La détection des sur-débits ou sous-débits ;
- L'identification des dérives de fonctionnement dans le temps.

La débitmétrie devient ainsi un outil complémentaire direct de l'équilibrage hydraulique.

6.5. Conditions de pertinence des mesures.

La qualité et l'exploitabilité des mesures dépendent directement :

- Du dimensionnement des émetteurs ;
- Du choix des vannes ;
- Du réglage hydraulique initial ;
- De la stabilité des pressions différentielles ;
- De la cohérence des débits de référence ;
- De la qualité du réseau hydraulique.

Les principaux paramètres influents sont notamment :

- Le diamètre nominal des vannes ;
- Le coefficient Kv ;
- Le régime de température ;
- Le type de régulation utilisé ;
- Le comportement hydraulique du réseau.

Une débitmétrie performante ne remplace donc pas l'équilibrage ; elle en constitue un outil d'analyse, de vérification et de suivi.



6.6. Analyses et diagnostics rendus possibles.

L'exploitation des données de débit permet de comparer :

- La température de consigne ;
- La température ambiante réelle ;
- Le débit observé ;
- L'évolution temporelle du fonctionnement.

Cette approche permet notamment de détecter :

- Un radiateur sous-dimensionné ;
- Un surdimensionnement d'émetteur ;
- Un mauvais réglage de vanne ;
- Une vanne bloquée ou défectueuse ;
- Une incohérence de diamètre de vanne ;
- Un encrassement du réseau ;
- Un défaut de circulation ;
- Un défaut d'isolation ;
- Des ouvertures de fenêtres prolongées ;
- Des dérives de régulation.

Les informations obtenues permettent :

- Un diagnostic à distance ;
- Des interventions ciblées ;
- Une meilleure hiérarchisation des opérations de maintenance ;
- Un suivi de performance dans le temps.

6.7. Importance du réglage des vannes thermostatiques.

Les vannes thermostatiques disposent généralement de dispositifs de pré-réglage mécanique permettant d'adapter le débit maximal de chaque émetteur.

Ces réglages constituent un élément fondamental de l'équilibrage hydraulique.

Ils sont déterminés à partir :

- De la puissance de l'émetteur ;
- Du régime de température ;
- Du débit de référence ;
- Des caractéristiques hydrauliques du réseau.

Un mauvais réglage ou l'absence de réglage conduit fréquemment :

- À des sur-débits en tête de réseau ;
- À des sous-débits en extrémité ;
- À une dégradation du confort ;
- À une augmentation des consommations énergétiques.



La débitimétrie permet précisément de vérifier la cohérence entre ces réglages théoriques et le comportement réel des émetteurs.

6.8. Vers des systèmes communicants et instrumentés.

Les technologies récentes intègrent désormais :

- La mesure de débit ;
- La transmission des données ;
- L'analyse des consommations ;
- Le suivi des températures ;
- La supervision à distance.

Les protocoles de communication tels que Zigbee ou LoRaWAN permettent l'intégration de ces informations dans des plateformes de supervision énergétique ou de gestion technique du bâtiment.

Ces dispositifs ouvrent la voie :

- À une meilleure transparence des consommations ;
- À une maintenance prédictive ;
- À une optimisation continue des installations ;
- À une gestion énergétique plus fine des bâtiments collectifs et tertiaires.

6.9. Transition vers les outils d'exploitation et d'analyse.

L'intérêt réel de la débitimétrie ne réside pas uniquement dans la mesure elle-même, mais dans la capacité à exploiter les informations collectées.

L'analyse croisée :

- Des débits ;
- Des températures ;
- Des puissances ;
- Des régimes de fonctionnement ;
- Des historiques de consommation,

Permet de construire de véritables outils d'aide :

- Au diagnostic ;
- Au réglage ;
- Au suivi énergétique ;
- À la maintenance ;
- À l'optimisation des performances des installations.

Les solutions logicielles modernes et les équipements communicants associés permettent désormais d'exploiter ces données de manière structurée afin d'améliorer durablement :

- Le confort thermique ;
- La stabilité hydraulique ;
- L'efficacité énergétique ;
- La gestion patrimoniale des installations.



Partie 7. Pompes à vitesse variable et contrôle de la pression disponible dans les réseaux.

7.1. Objet de la partie et vocabulaire.

Les circulateurs à vitesse variable constituent aujourd'hui le standard des installations de chauffage à eau chaude. Ils permettent d'adapter en continu la puissance hydraulique aux besoins réels du réseau, avec un gain énergétique potentiel important sur la consommation électrique des circulateurs.

Il convient toutefois de préciser le vocabulaire. L'expression courante de « pompe à débit variable » est impropre si elle laisse entendre que le débit serait imposé directement par la machine. En réalité, le débit résulte de l'interaction entre la courbe caractéristique de la pompe et la courbe de perte de charge du réseau. Le terme le plus juste est donc celui de circulateur à vitesse variable, ou de pompe à vitesse variable, selon le contexte de rédaction.

L'objectif de cette partie est d'expliquer clairement le fonctionnement de ces technologies, d'identifier les modes de régulation les plus pertinents et de mettre en évidence les erreurs classiques de dimensionnement ou de réglage qui conduisent à des surpressions, des bruits, des dérives de régulation ou une consommation excessive.

7.2. Principe général de fonctionnement.

Un circulateur à vitesse variable ne fixe pas directement le débit du réseau ; il modifie sa vitesse de rotation, et le débit effectif résulte alors du point de fonctionnement obtenu à l'intersection entre la courbe de pompe et la courbe du système. C'est une notion essentielle : ce n'est pas la pompe seule qui "commande" le réseau, mais l'ensemble pompe + réseau + organes de réglage.

Dans une installation de chauffage, cette relation devient particulièrement importante parce que le réseau n'a pas une perte de charge constante. La fermeture progressive de robinets thermostatiques, l'action des PICV ou des DPCV, la variation des débits de zone et la modulation des besoins thermiques déplacent en permanence le point de fonctionnement.

C'est précisément cette variabilité qui justifie le recours à des circulateurs capables de s'adapter au lieu d'imposer une pression figée à charge partielle.

7.3. Lois d'affinité des pompes.

Les économies obtenues par la variation de vitesse reposent sur les lois d'affinité. Elles décrivent le comportement des pompes centrifuges lorsqu'on modifie leur vitesse de rotation.

En première approximation :

- Le débit varie proportionnellement à la vitesse ;
- La hauteur manométrique varie comme le carré de la vitesse ;
- La puissance absorbée varie comme le cube de la vitesse.

Cette relation explique pourquoi une réduction modérée de vitesse produit une baisse très nette de consommation électrique. C'est aussi la raison pour laquelle la modulation de vitesse est bien plus intéressante qu'un fonctionnement à vitesse constante assorti d'étranglements de vannes.



7.4. Point de fonctionnement et courbe réseau.

Le débit réellement fourni par un circulateur n'est pas une grandeur arbitraire : il résulte du point de fonctionnement du système. Ce point est l'intersection entre la courbe de la pompe et la courbe de perte de charge du réseau.

Il s'ensuit trois conséquences :

- Si les pertes de charge du réseau augmentent, le point de fonctionnement se déplace ;
- Si les vannes se ferment, la pression disponible se modifie ;
- Si la vitesse du circulateur change, la courbe de pompe se déplace elle aussi.

Il est donc illusoire de parler de débit "fixe" sans préciser la pression disponible, l'état des organes de réglage et le mode de commande de la pompe. C'est pourquoi la notion de débit de référence, définie dans les premières parties du recueil, doit être comprise comme une base de réglage hydraulique, et non comme un débit réel permanent.

7.5. Modes de régulation des circulateurs.

Les principaux modes de régulation rencontrés dans les installations modernes sont les suivants :

- La pression différentielle constante ;
- La pression proportionnelle ;
- La loi proportionnelle quadratique ;
- Les modes intelligents de type AutoAdapt, Dynamic Adapt ou équivalent.

Chacun répond à une logique particulière. La pression constante peut être utile dans certains réseaux à comportement très spécifique. La pression proportionnelle s'adapte mieux aux systèmes où la demande diminue progressivement. Le mode quadratique est souvent le plus cohérent avec le comportement réel d'un réseau de chauffage à eau chaude, car il accompagne la réduction de débit par une réduction simultanée de la pression disponible.

Les modes intelligents peuvent apporter un gain supplémentaire lorsque le réseau est déjà bien conçu, bien équilibré et stable. Ils ne remplacent toutefois ni le dimensionnement hydraulique, ni le réglage initial, ni l'équilibrage des circuits.

7.6. Pression différentielle constante.

La pression différentielle constante maintient une hauteur manométrique presque fixe quelle que soit la demande. Ce mode est simple à comprendre et peut convenir à certaines configurations où l'on souhaite préserver une pression minimale sur des organes sensibles.

Mais dans une installation de chauffage à débit très variable, ce mode devient souvent pénalisant à charge partielle. La pompe continue alors à fournir une pression élevée alors que la demande baisse, ce qui peut provoquer :

- Surpressions aval ;
- Bruit hydraulique ;
- Autorité excessive ou instable sur les organes terminaux ;
- Pertes inutiles de consommation électrique.



Ce mode ne doit donc pas être rejeté par principe, mais réservé aux cas où sa logique est réellement adaptée. Dans les réseaux de chauffage modernes, il n'est souvent pas le plus pertinent.

7.7. Loi proportionnelle quadratique.

La loi proportionnelle quadratique est généralement le mode le plus équilibré pour les installations de chauffage à eau chaude. Elle fait décroître la pression de la pompe plus rapidement lorsque le débit diminue, ce qui épouse mieux la courbe naturelle du système.

Cette loi présente plusieurs avantages :

- Elle réduit la pression disponible quand la demande baisse ;
- Elle limite les surpressions aux organes de régulation ;
- Elle favorise le silence de fonctionnement ;
- Elle améliore l'efficacité énergétique du circulateur.

En pratique, elle permet de mieux accompagner le fonctionnement réel du réseau, qui n'est presque jamais à débit nominal permanent. Le réseau fonctionne surtout à charge partielle, et c'est dans ce régime que la loi quadratique prend tout son intérêt.

7.8. Modes intelligents.

Les modes intelligents, de type AutoAdapt ou Dynamic Adapt, combinent généralement une base de commande proche des lois proportionnelles avec des algorithmes d'ajustement fondés sur le comportement observé du système. Ils peuvent être très efficaces lorsque le réseau est lisible, correctement équilibré et dépourvu de perturbations majeures.

En revanche, ils ne corrigent pas un défaut de conception. Un mode intelligent appliqué à une installation mal équilibrée optimise un désordre au lieu de le résoudre. L'intelligence du circulateur ne remplace pas l'intelligence du projet.

Il faut donc les considérer comme des outils d'optimisation, et non comme des outils de rattrapage des erreurs hydrauliques.

7.9. Débit minimum et protection des générateurs.

La modulation de vitesse ne doit jamais faire oublier les exigences de débit minimum imposées par certains générateurs ou échangeurs. Une pompe trop ralentie peut conduire à un débit insuffisant, avec échauffement excessif, dégradation de l'échange ou fonctionnement hors domaine acceptable.

Cette contrainte est particulièrement importante :

- Pour les pompes à chaleur ;
- Pour certaines chaudières ;
- Pour les échangeurs compacts ;
- Pour les réseaux où le faible volume d'eau peut provoquer des variations très rapides.

Le réglage de vitesse doit donc toujours rester compatible avec le débit minimal nécessaire au bon fonctionnement du générateur. La réduction de consommation ne doit pas se faire au détriment de la sécurité hydraulique ni de la durabilité du matériel.



7.10. Lien avec l'équilibrage hydraulique.

Un circulateur à vitesse variable ne corrige pas un réseau mal équilibré. Il s'adapte à une installation existante, mais il ne compense pas un mauvais dimensionnement des débits de référence, un défaut d'autorité des vannes ou un déséquilibre profond entre branches.

Au contraire, un réseau correctement équilibré permet à la pompe de travailler près de son domaine optimal, avec des pressions plus faibles, moins de bruit et une consommation réduite. Le circulateur devient alors un outil de finesse de réglage, et non un substitut au réglage hydraulique.

Il faut donc rappeler que la performance de la pompe dépend directement de la qualité de l'équilibrage en amont. Sans cette base, les algorithmes de vitesse variable n'offrent qu'un bénéfice partiel.

7.11. Liaison avec le découplage hydraulique.

Dans les installations comportant plusieurs circuits ou plusieurs zones, le bon fonctionnement des circulateurs à vitesse variable dépend aussi du découplage hydraulique. Sans séparation suffisante entre primaire et secondaires, les pompes interagissent entre elles, modifiant sans cesse la pression disponible et les points de fonctionnement respectifs.

Le découplage hydraulique rend donc les circulateurs lisibles et stables. Il permet à chacun de moduler sa vitesse sans imposer ses perturbations aux autres circuits. C'est un point fondamental dès que l'on veut exploiter correctement des pompes à vitesse variable sur des réseaux complexes.

7.12. Choix pratique de la loi de commande.

Le choix de la loi de commande doit être lié :

- Au type de réseau ;
- Au niveau de variation de la demande ;
- À la présence ou non d'organes de régulation dynamique ;
- Au degré de découplage hydraulique ;
- À la sensibilité du générateur ;
- Au niveau de bruit admissible ;
- À la qualité du réglage initial.

En règle générale :

- La pression constante ne doit pas être systématisée ;
- La loi quadratique mérite d'être privilégiée dans de nombreux réseaux de chauffage ;
- Les modes intelligents peuvent apporter un complément utile, mais seulement sur une base hydraulique saine.

7.13. Conséquences sur l'exploitation.

Un bon choix de circulateur et de mode de régulation permet :

- De réduire la consommation électrique ;
- D'améliorer le silence de fonctionnement ;
- De limiter les surpressions aval ;



- De stabiliser les organes terminaux ;
- De préserver la durée de vie des composants ;
- De maintenir une régulation plus fidèle aux besoins réels.

À l'inverse, un mauvais réglage de pompe se traduit rapidement par des perturbations de confort, des bruits hydrauliques, des dérives de température et une difficulté accrue à maintenir les débits de référence définis dans les parties précédentes.

7.14. Conclusion de la partie.

Les circulateurs à vitesse variable constituent un progrès majeur pour le chauffage à eau chaude, mais leur efficacité dépend de la cohérence globale du système. Ils ne remplacent ni l'équilibrage hydraulique, ni le découplage des circuits, ni la justesse du réglage des organes terminaux.

Le bon fonctionnement d'une pompe à vitesse variable repose sur quatre conditions essentielles :

- Un réseau hydrauliquement lisible ;
- Une loi de commande adaptée ;
- Des débits de référence correctement déterminés ;
- Un découplage suffisant lorsque plusieurs circuits coexistent.

C'est à cette condition que la variation de vitesse devient un véritable levier d'efficacité et non une simple sophistication de commande.



Partie 8. Hydraulique en chaufferie.

8.1. Objet de la partie.

Dans les installations comportant plusieurs circuits - circuits de radiateurs, planchers chauffants, batteries de CTA, zones à températures différentes, circuits à régimes distincts - la séparation hydraulique en chaufferie devient un élément essentiel de la performance globale du système.

Cette partie précise les raisons techniques et énergétiques justifiant l'emploi d'une bouteille de séparation, ou découpleur hydraulique, ainsi que la nécessité d'équilibrer correctement les vannes de mélange utilisées en régulation automatique.

Un bon équilibrage hydraulique des émetteurs, tel que développé dans les Parties 1 à 4, et une régulation performante, telle qu'exposée en Parties 5 et 6, ne suffisent pas si l'interface entre la chaufferie et les circuits n'est pas maîtrisée. Les interférences hydrauliques et thermiques entre circuits dégradent alors les débits de référence, les températures d'alimentation et, au final, le rendement des générateurs.

La chaufferie ne doit donc pas être considérée comme un simple local de production, mais comme le nœud d'organisation hydraulique de l'ensemble de l'installation.

8.2. Nécessité de la séparation hydraulique.

Lorsque plusieurs circuits sont alimentés par un même générateur - chaudière, pompe à chaleur, groupe mixte ou sous-station - leurs pompes ou circulateurs ne fonctionnent presque jamais de manière parfaitement synchronisée.

Les débits varient en permanence sous l'effet :

- Des robinets thermostatiques ou des vannes PICV qui s'ouvrent et se ferment ;
- Des différences d'inertie et de besoins entre zones, par exemple entre planchers chauffants et radiateurs ;
- Des régimes de fonctionnement distincts, tels que confort, réduit ou relance ;
- Des longueurs de réseaux et des pertes de charge très différentes ;
- Des modulations de vitesse des circulateurs.

Sans séparation hydraulique, ces variations créent des perturbations réciproques :

- Influence d'une pompe sur l'autre, avec surdébit ou sous-débit dans certains circuits ;
- Court-circuitage possible entre départ et retour ;
- Variation de la pression différentielle disponible pour chaque circuit, rendant impossible le maintien des débits de référence ;
- Perturbation de la régulation de température de départ, le générateur "voyant" un débit instable ;
- Risque de cavitation, de bruit et d'usure prématurée des circulateurs.

La bouteille de séparation, ou découpleur hydraulique, rompt le couplage entre le circuit primaire et les circuits secondaires. Elle permet à chaque circuit de fonctionner à son propre débit et à sa propre pression différentielle, indépendamment des autres. Elle constitue ainsi un point neutre dans l'architecture hydraulique.

La séparation hydraulique prend tout son sens dès lors que l'installation comporte des circuits de natures différentes, ou que les débits maximaux des secondaires s'écartent sensiblement du débit primaire disponible.



8.3. Fonction de la bouteille de séparation.

La bouteille de séparation hydraulique a pour fonction première de découpler le générateur des circuits de distribution. Elle crée un point hydraulique neutre, au sens où les variations de débit d'un côté ne se répercutent pas directement de l'autre.

En pratique, elle permet :

- Au générateur de travailler sur un débit propre et stable ;
- Aux circuits secondaires de moduler leur demande sans imposer directement leurs fluctuations au primaire ;
- D'éviter qu'un circuit "fort" hydrauliquement ne capte ou ne détourne la totalité du débit disponible ;
- De conserver des conditions de fonctionnement lisibles pour les régulations.

Elle agit aussi, lorsqu'elle est correctement dimensionnée et implantée, comme une zone favorable à la séparation des bulles d'air et à la décantation des boues. Sa fonction est donc à la fois hydraulique, thermique et, dans une certaine mesure, de qualité de fluide.

Le générateur et les circuits secondaires doivent pouvoir se voir thermiquement, mais pas se perturber hydrauliquement.

8.4. Régimes de fonctionnement de la bouteille.

Le fonctionnement de la bouteille de séparation dépend de la relation entre le débit primaire et le débit secondaire.

Cas 1. Débit primaire égal au débit secondaire.

Dans ce cas, la bouteille fonctionne dans sa situation la plus neutre. Le débit traversant le primaire est repris par les secondaires sans mélange parasite notable. La température de départ côté secondaire reste proche de celle du primaire, sous réserve des pertes de distribution.

Cas 2. Débit primaire supérieur au débit secondaire.

Une partie du débit primaire ne trouve pas de consommation immédiate dans les secondaires. Il existe alors une circulation directe entre départ et retour dans la bouteille. Cette situation évite les surpressions dans les circuits secondaires, mais elle peut réduire légèrement la température disponible ou provoquer un recyclage partiel selon la géométrie de la bouteille.

Cas 3. Débit primaire inférieur au débit secondaire.

Les secondaires demandent plus de débit que le primaire n'en fournit. La bouteille devient alors une zone de mélange, une partie du retour venant compléter le débit utile. Cette situation impose d'être particulièrement attentif à la température réellement fournie aux circuits aval, surtout dans les installations à basse température ou à forte sensibilité de régulation.

La compréhension de ces trois régimes est essentielle. Elle montre que la bouteille ne sert pas seulement à "mettre les circuits à côté les uns des autres", mais à leur permettre de fonctionner dans des conditions hydrauliques compatibles.

8.5. Cas où la séparation devient indispensable.

La séparation hydraulique devient fortement recommandée, et souvent techniquement incontournable, dès que l'installation présente une ou plusieurs des caractéristiques suivantes :

- Coexistence de circuits à températures différentes ;
- Présence de plusieurs circulateurs pouvant travailler en parallèle ;
- Régulation par zone ou par étage ;
- Installation combinant radiateurs, planchers chauffants et batteries techniques ;
- Pompes à vitesse variable sur plusieurs branches ;



- Faibles volumes d'eau et régulations sensibles ;
- Générateur sensible aux variations de débit, notamment les pompes à chaleur et les chaudières à condensation ;
- Débits de référence très différents entre le primaire et les secondaires.

Dans ces cas, vouloir se passer d'un découplage revient souvent à reporter les difficultés sur la régulation, sur les pompes, ou sur les organes terminaux. On obtient alors une installation plus difficile à régler, plus bruyante, et moins stable dans le temps.

8.6. Équilibrage des vannes de mélange de régulation automatique.

Les vannes de mélange, à 3 voies ou à 4 voies selon l'architecture retenue, sont utilisées pour régler la température d'alimentation d'un circuit ou d'une zone. Elles sont particulièrement fréquentes sur les planchers chauffants, les zones basse température, certaines batteries de CTA et les circuits à température glissante.

Leur rôle n'est pas seulement de mélanger deux eaux de températures différentes. Elles doivent surtout fournir, en toutes circonstances, une température de départ stable et compatible avec le besoin réel du circuit secondaire.

L'équilibrage spécifique de ces vannes est indispensable, pour plusieurs raisons :

- La vanne doit conserver une autorité suffisante ;
- La température de mélange doit rester fidèle à la consigne ;
- Les courts-circuits hydrauliques doivent être évités ;
- La régulation centrale ne doit pas être contrainte de compenser un défaut local de mélange ;
- Le débit de référence du circuit aval doit rester respecté.

8.7. Autorité de la vanne.

L'autorité d'une vanne exprime sa capacité à imposer son propre réglage au circuit. Elle se définit comme le rapport entre la perte de charge créée par la vanne et la perte de charge totale du circuit régulé, ou sous une forme voisine selon les méthodes de calcul utilisées.

En pratique, on recherche une autorité suffisante pour que la vanne travaille dans une zone de régulation stable. Une fourchette couramment admise se situe autour de 0,3 à 0,7, avec une préférence pratique pour des valeurs proches de 0,5 à 0,7 lorsque l'on veut une régulation fine et robuste.

- En dessous d'environ 0,3 à 0,4, la vanne perd en finesse, sa modulation devient peu efficace et elle se comporte presque comme un organe tout ou rien.
- Au-dessus d'une valeur trop élevée, la perte de charge devient parfois inutilement importante et peut pénaliser l'exploitation.

L'autorité ne doit pas être confondue avec le simple choix du Kv. Une vanne correctement dimensionnée en débit peut malgré tout avoir une mauvaise autorité si le reste du circuit est trop peu contraint ou si la pompe impose une pression variable excessive.

8.8. Comment assurer une bonne autorité.

Pour assurer une autorité correcte, il faut agir sur l'ensemble de la chaîne hydraulique, et non sur la seule vanne.

Les principes à respecter sont les suivants :

- Vérifier la perte de charge du circuit hors vanne ;
- Choisir la vanne de manière qu'elle travaille dans une plage utile de régulation ;
- Équilibrer les branches en amont et en aval ;



- Limiter les excès de pression liés aux circulateurs ;
- Éviter les by-pass non maîtrisés ;
- Maintenir une architecture hydraulique lisible.

La bonne autorité n'est pas un luxe de conception. C'est une condition de stabilité de la régulation. Une vanne qui n'a pas d'autorité ne régule plus réellement ; elle subit les variations du réseau.

8.9. Court-circuits et surdébits.

Un mauvais équilibrage de la vanne de mélange, ou du by-pass associé, peut créer un court-circuit hydraulique entre départ et retour. Une partie du débit repart alors vers le retour sans traverser correctement la zone utile du circuit.

Ce phénomène a plusieurs conséquences :

- Baisse du débit utile vers les émetteurs ;
- Température de mélange erronée ;
- Lecture perturbée de la sonde de départ ;
- Surcharge de la régulation centrale ;
- Surconsommation énergétique.

Le by-pass, s'il existe, doit donc être réglé avec discernement. Il ne doit jamais devenir une fuite hydraulique permanente masquant un défaut de conception ou de réglage.

8.10. Calcul et montage des bouteilles de séparation.

La bouteille de séparation ne doit pas être envisagée comme un simple tronçon de tuyauterie élargi. Son objectif est de faire chuter la vitesse de l'eau afin que la séparation hydraulique soit réelle.

Le dimensionnement pratique repose sur quelques principes simples :

- Section suffisante pour obtenir une vitesse interne très faible ;
- Hauteur adaptée aux débits en présence ;
- Piquages décalés verticalement pour limiter les recirculations parasites ;
- Montage vertical de préférence ;
- Départs en partie haute et retours en partie basse ;
- Présence de purge en partie haute et de vidange en partie basse.

L'objectif est d'obtenir un organe où la vitesse est nettement inférieure à celle des canalisations de distribution, afin d'éviter tout transfert de pression significatif entre les circuits.

Dans la pratique, la bouteille doit être conçue comme un volume de séparation, et non comme un simple élément de liaison.

8.11. Vitesse dans les canalisations.

La vitesse de circulation constitue un paramètre essentiel de la qualité hydraulique.

Dans les canalisations de chaufferie et les réseaux de distribution, il faut rechercher un compromis entre :

- Pertes de charge raisonnables ;
- Limitation du bruit ;
- Évacuation correcte de l'air ;
- Maîtrise de l'érosion et de l'usure ;



- Stabilité des organes de régulation.

À titre pratique :

- Les canalisations principales de distribution peuvent fonctionner avec des vitesses modérées;
- Les tronçons proches des organes de régulation doivent éviter des vitesses trop élevées ;
- La bouteille de séparation doit, au contraire, présenter une vitesse très faible pour assurer le découplage.

La vitesse ne doit donc jamais être pensée isolément. Une vitesse acceptable dans une conduite de distribution peut être totalement inadaptée dans une bouteille de séparation.

8.12. Isolation des canalisations.

L'isolation des canalisations en chaufferie et dans les locaux non chauffés est une exigence de cohérence énergétique.

Toute canalisation qui traverse un local non chauffé, un vide sanitaire, un sous-sol, un garage, une zone extérieure ou un local technique froid doit être isolée de manière continue. Il faut également soigner les accessoires, les vannes, les brides, les collecteurs, les filtres et les points singuliers, car ce sont souvent eux qui concentrent les pertes thermiques.

Une isolation insuffisante entraîne :

- Des pertes de température avant l'arrivée aux émetteurs ;
- Une dégradation du rendement ;
- Un écart entre température calculée et température effective ;
- Une compensation inutile par la régulation ;
- Une baisse de performance des régimes basse température.

L'isolation n'est donc pas un simple complément de confort. C'est une partie intégrante du réglage hydraulique.

8.13. Interaction avec les PAC et chaudières à condensation.

La séparation hydraulique prend une importance particulière avec les pompes à chaleur et les chaudières à condensation.

Pour une pompe à chaleur, la stabilité du débit et de la température de retour est déterminante pour le maintien du COP. Des variations trop brutales de débit ou de température dégradent immédiatement la performance.

Pour une chaudière à condensation, le maintien d'un retour suffisamment bas et stable favorise la condensation et améliore le rendement global. Une installation mal découplée peut au contraire relever les températures de retour et faire disparaître une partie du gain attendu.

La bouteille de séparation, associée à un équilibrage correct des vannes de mélange et des secondaires, aide donc à stabiliser le régime thermique du générateur.

8.14. Conséquences sur l'exploitation.

Une séparation hydraulique bien conçue et un équilibrage soigné des vannes de mélange apportent plusieurs bénéfices convergents :

- Stabilité des débits de référence ;
- Meilleure répartition des puissances ;
- Réduction des écarts de température entre zones ;
- Amélioration du confort ;
- Diminution des bruits hydrauliques ;



- Baisse des interventions de maintenance ;
- Meilleure lisibilité des défauts ;
- Amélioration du rendement des générateurs.

À l'inverse, une chaufferie sans découplage adapté rend l'ensemble de l'installation plus sensible aux variations de charge et plus difficile à stabiliser dans le temps.

8.15. Règles pratiques.

Les règles pratiques suivantes peuvent être retenues :

- Séparer les circuits dès qu'ils n'ont pas le même régime de température, de débit ou de régulation ;
- Prévoir une bouteille de séparation dès que plusieurs circulateurs peuvent interférer ;
- Dimensionner la bouteille pour obtenir une vitesse très faible ;
- Monter les piquages de manière à éviter les recirculations parasites ;
- Équilibrer les vannes de mélange à partir des débits de référence du circuit concerné ;
- Rechercher une autorité de vanne suffisante, proche de 0,5 à 0,7 ;
- Régler les by-pass avec prudence ;
- Isoler soigneusement toutes les canalisations en locaux non chauffés ;
- Vérifier les températures de départ et de retour en régime stabilisé ;
- Documenter les réglages dans le carnet d'entretien.

8.16. Conclusion de la partie.

L'équilibrage hydraulique ne se limite pas au réglage des radiateurs. Il englobe la conception cohérente de l'ensemble du système, depuis la détermination réaliste des débits de référence, en passant par la prise en compte des contraintes du réseau, jusqu'à la séparation hydraulique en chaufferie et l'intégration fine avec la régulation.

La bouteille de séparation assure la stabilité du découplage, la vanne de mélange assure la température utile, l'autorité garantit la fidélité du réglage, la vitesse maîtrisée préserve la qualité hydraulique et l'isolation des canalisations conserve l'énergie jusqu'aux émetteurs.

Une mise en œuvre méthodique selon les principes exposés dans ce document permet d'atteindre les gains énergétiques attendus, tout en assurant un confort homogène et durable. Le carnet d'identité de l'installation — débits de référence, réglages, courbes de régulation, caractéristiques hydrauliques et températures mesurées — devient alors le principal outil de suivi et d'optimisation sur toute la durée de vie du bâtiment.

L'équilibrage hydraulique moderne ne se limite plus à une opération ponctuelle de réglage de vannes.

Il devient :

- Un outil global de performance énergétique ;
- Un moyen de stabilisation des installations ;
- Un support d'analyse technique ;
- Un instrument de maintenance et d'exploitation ;
- Une base de supervision énergétique avancée.



L'association :

- D'un équilibrage rigoureux ;
- D'une régulation cohérente ;
- D'une instrumentation adaptée ;
- D'outils d'analyse modernes,

Permet aujourd'hui d'atteindre des niveaux élevés :

- De confort thermique ;
- De stabilité hydraulique ;
- D'efficacité énergétique ;
- De pérennité des installations.

Cette évolution ouvre naturellement la voie à l'utilisation de solutions logicielles spécialisées et d'équipements communicants capables d'exploiter ces informations pour améliorer durablement la gestion technique et énergétique des bâtiments.



Annexe 1 – Glossaire.

Terme	Définition
Apports internes	Chaleurs dégagées par les occupants, les équipements et l'ensoleillement.
Apports solaires	Gains thermiques gratuits provenant du rayonnement solaire à travers les parois vitrées et opaques. Ils varient fortement selon l'orientation, la saison et l'ombrage.
Autorité d'un robinet	Rapport entre la perte de charge du robinet et la perte de charge totale du circuit (idéalement $\geq 0,3$ pour garantir une bonne régulation).
Chute de température dans l'émetteur	Différence entre température d'entrée et de sortie de l'émetteur (K).
Coefficient de foisonnement	Facteur correctif (0,65 à 1,00) appliqué au débit de référence pour tenir compte de la variabilité réelle des besoins (occupation, apports internes, comportements des occupants).
Coefficient d'inertie thermique (k)	Coefficient ($\text{h}/^\circ\text{C}$) représentant le temps nécessaire pour faire varier la température intérieure de 1°C lorsque le système délivre sa puissance utile. Déterminé avec la meilleure précision par mesure in situ ou simulation thermique dynamique. Valeurs typiques : 0,4–0,8 (bâtiment léger) à 2,0–4,0 (plancher chauffant lourd).
COP (Coefficient de Performance)	Rapport entre l'énergie thermique utile fournie et l'énergie électrique consommée par une pompe à chaleur. Plus le COP est élevé, meilleure est l'efficacité énergétique.
Débit de référence	Débit massique (kg/h) calculé pour un émetteur afin de fournir la puissance thermique nécessaire dans les conditions nominales du bâtiment.
DPCV (Differential Pressure Control Valve)	Régulateur de pression différentielle. Organe qui maintient une pression différentielle constante en aval de la vanne, quelle que soit la pression en amont. Il assure la stabilité hydraulique du circuit et permet aux robinets thermostatiques ou vannes de régulation de fonctionner correctement même lorsque d'autres circuits varient.
EPBD (Energy Performance of Buildings Directive)	Directive européenne 2010/31/UE (révisée par la directive 2024/1275) qui fixe les exigences minimales de performance énergétique des bâtiments neufs et existants, impose des plans nationaux de rénovation ambitieux et des trajectoires de réduction des consommations. Transposée en droit français via la RE2020 et le Décret tertiaire.
GTB / GTC	Gestion Technique du Bâtiment / Gestion Technique Centralisée : système de supervision centralisé permettant le pilotage multi-zones, l'optimisation énergétique et le diagnostic en temps réel.
Inertie thermique	Capacité d'un bâtiment ou d'un émetteur à stocker et restituer lentement la chaleur. Bâtiment lourd (béton, plancher chauffant) = forte inertie ; bâtiment léger = faible inertie.
KV (coefficient de débit)	Coefficient caractérisant la capacité d'une vanne : débit en m^3/h pour une perte de charge de 1 bar.
Loi d'émission	Relation $Q = K \times (\Delta T_m)^n$ entre puissance émise et écart de température moyenne.
Loi d'eau (courbe de chauffe)	Relation mathématique qui adapte la température de départ de l'installation en fonction de la température extérieure : $T_{\text{départ}} = T_{\text{départ,base}} + p \cdot (T_{\text{base}} - T_{\text{ext}}) + \text{Offset}$.
Offset	Correction d'exploitation ajoutée à la loi d'eau (ex. : $+2^\circ\text{C}$) pour tenir compte de l'occupation, de la dérive ou de l'inertie du bâtiment.



Optimiseur de relance	Fonction de régulation qui calcule automatiquement le moment optimal de démarrage du chauffage après une période d'abaissement afin d'atteindre la consigne de confort sans surconsommation.
Pente de la loi d'eau	Coefficient (typiquement 1.0 à 1,5) qui traduit la sensibilité thermique globale du bâtiment et des émetteurs dans la formule de la loi d'eau.
PICV (Pressure Independent Control Valve)	Vanne de régulation indépendante de la pression. Combine une fonction de régulation de débit et un régulateur de pression différentielle intégré. Elle maintient un débit constant et précis quelle que soit la pression en amont du circuit, facilitant grandement l'équilibrage dynamique.
Puissance réelle	Puissance effectivement émise par l'émetteur dans les conditions réelles de fonctionnement.
Régime nominal	Conditions de fonctionnement de référence (température de consigne usuelle, température de départ nominale).
Régulation auto-adaptative	Régulation qui ajuste automatiquement la pente et l'Offset de la loi d'eau en fonction des retours d'expérience du bâtiment (températures intérieures mesurées).
Régulation prédictive	Régulation utilisant les prévisions météo et les données IoT pour anticiper les besoins thermiques et optimiser les apports gratuits.
Réhabilitation thermique	Amélioration de l'enveloppe qui réduit les déperditions sans nécessairement changer les émetteurs.
Robinet thermostatique (TRV)	Organe de régulation local placé sur chaque radiateur qui module le débit en fonction de la température ambiante perçue près du radiateur.
Température de surface	Température maximale admissible à la surface des émetteurs rayonnants ($\leq 29\text{ °C}$ pour les planchers chauffants selon NF EN 1264).
Température effective d'alimentation	Température réelle de l'eau à l'entrée de l'émetteur après chute de température dans le réseau de distribution.
Thermostat d'ambiance programmable	Appareil placé dans la pièce de vie qui mesure la température ambiante et pilote directement le générateur (chaudière ou PAC) selon un programme horaire.
Zonage hydraulique	Division du réseau de distribution en boucles ou colonnes indépendantes (par orientation, par étage ou par zone thermique) permettant une régulation autonome et une meilleure prise en compte des apports solaires.

Annexe 2 – Références normatives

- NF EN 12831 – Performance thermique des bâtiments – Calcul des charges thermiques ;
- DTU 65.3 – Installations de chauffage à eau chaude ;
- NF EN 442 – Radiateurs et convecteurs.



Annexe 3 - Définition du débit de référence.

Perturbation ou phénomène	Inclure ou non dans le débit de référence	Objet de la prise en compte / lieu de traitement
Hypothèses climatiques normatives	Inclure	Base de calcul des déperditions et de la puissance nominale.
Enveloppe après réhabilitation thermique	Inclure	Réévaluation des besoins locaux sur la nouvelle configuration.
Caractérisation des menuiseries (Uw, g, surface, etc.)	Inclure	Ajustement des déperditions et apports solaires par local.
Ventilation simple flux et répartition air neuf	Inclure	Prise en compte de la répartition asymétrique des déperditions.
Réhabilitation avec maintien des émetteurs existants	Inclure	Rééquilibrage entre besoins réduits et puissance conservée.
Lois d'émission des émetteurs	Inclure	Cohérence débit ↔ température d'eau pour le régime de base.
Action ponctuelle du vent sur les façades	Ne pas inclure	Traitée par régulation et adaptation temporaire.
Effet instantané de l'ensoleillement	Ne pas inclure	Gestion par la régulation et la courbe de chauffe.
Apports internes (occupation, équipements)	Ne pas inclure	Gestion par la régulation et le comportement spontané du bâtiment.
Phases de relance après abaissement nocturne ou WE	Ne pas inclure	Gestion par la stratégie de relance, surpuissance temporaire.
Modes de fonctionnement programmés (normal, abaissé)	Ne pas inclure (<i>dans le débit de référence fixe</i>)	Gestion par la régulation et la programmation.
Qualité de l'eau, corrosion, boues, encrassement	Ne pas inclure	Traité par la maintenance, la filtration et le traitement d'eau.
Technologies modernes de régulation	Ne pas inclure (<i>dans le calcul de base</i>)	Doivent s'appuyer sur des débits de référence correctement déterminés.

Ce tableau récapitule les principaux phénomènes perturbant la détermination des débits de référence, en distinguant ceux qui entrent dans la base de calcul de ceux qui sont traités par la régulation, la gestion de l'exploitation ou la maintenance.



LES OUTILS POUR PASSER DE LA THÉORIE À LA PRATIQUE

Des logiciels conçus par un ingénieur thermicien pour les professionnels du bâtiment

L'équilibrage hydraulique présenté dans ce guide repose sur une connaissance précise des besoins thermiques du bâtiment, des caractéristiques des émetteurs, des débits de référence et des contraintes de distribution.

Pour réaliser ces études dans des conditions fiables et reproductibles, le site :

<https://Logiciels-Thermiques.com>

Met à disposition une gamme complète de logiciels destinés aux :

- Artisans chauffagistes ;
- Entreprises d'installation ;
- Bureaux d'études thermiques ;
- Exploitants de bâtiments.

Principaux domaines couverts

- ✓ Calcul des déperditions de chaleur
- ✓ Dimensionnement des radiateurs
- ✓ Dimensionnement des planchers chauffants
- ✓ Dimensionnement des réseaux hydrauliques
- ✓ Calcul des pertes de charge
- ✓ Équilibrage hydraulique
- ✓ Dimensionnement des pompes à chaleur
- ✓ Dimensionnement des chaudières
- ✓ Audit énergétique

Une philosophie différente

Les logiciels ont été développés pour répondre aux besoins réels du terrain.

L'objectif n'est pas de produire uniquement des calculs conformes aux normes, mais également de fournir des outils permettant de comprendre le comportement thermique et hydraulique des installations.

Chaque résultat est accompagné des hypothèses utilisées, permettant au professionnel de conserver la maîtrise complète de son étude.

Contact

Cabinet DUCHER Jean-Claude

Logiciels-Thermiques

169 Grande rue – La Thébaïde – 01560 SAINT-TRIVIER-DE-COURTES

Tél : 04 74 30 79 13 – 06 80 66 90 25

E-Mail : ducher.jeanclaudio@gmail.com
logiciels.thermiques@gmail.com



DE L'ÉQUILIBRAGE AU PILOTAGE INTELLIGENT DU BÂTIMENT

DOMPilote

Exploiter durablement les performances obtenues

Un équilibrage hydraulique de qualité constitue le point de départ d'une installation performante.

Cependant, les performances ne peuvent être maintenues dans le temps que si l'installation est surveillée, analysée et pilotée de manière continue. C'est précisément l'objectif de **DOMPilote**.

Une solution orientée exploitation

DOMPilote permet de suivre :

- ✓ Les températures de fonctionnement
- ✓ Les consommations énergétiques
- ✓ Les débits
- ✓ Les rendements des générateurs
- ✓ Les anomalies d'exploitation
- ✓ Les dérives de réglage

Une aide à la maintenance

Grâce au suivi continu des installations, **DOMPilote** facilite :

- La détection précoce des dysfonctionnements ;
- L'identification des dérives énergétiques ;
- La planification des opérations de maintenance ;
- L'optimisation des réglages de régulation ;
- La réduction des coûts d'exploitation.

DOMPilote permet de vérifier dans le temps que les paramètres optimisés de mise en service restent conformes aux objectifs initiaux.

L'association d'un équilibrage méthodique et d'un suivi intelligent constitue aujourd'hui l'un des moyens les plus efficaces pour améliorer durablement :

- Le confort des occupants ;
- Les performances énergétiques ;
- La durée de vie des équipements ;
- Les coûts d'exploitation.

Contact

DOMPilote

Pilotage intelligent des installations techniques du bâtiment.

41 avenue Théophile Gautier- 75016 Paris

Patrick DE CARNÉ

Tél. : 06 58 67 39 76

E-mail : contact@dompilote.fr

