

# Rapport

Horw, 13 mars 2018

Page 1/38

## Bases et explications sur les réseaux thermiques



## Impressum

<b>Auteurs</b>	Diego Hangartner	HSLU
	Joachim Ködel	HSLU
	Stefan Mennel	HSLU
	Matthias Sulzer	HSLU, Empa

**Feedback** Commentaires par email à [stefan.mennel@hslu.ch](mailto:stefan.mennel@hslu.ch)

<b>Distribution</b>	Daniel Binggeli	OFEN
	Olivier Brenner	EnDK
	Christoph Gmür, Jules Gut	EnFK
	Viktor Dorer	FEEB&D
	Andreas Meyer   Robert Minovsky	Minergie
	Nathalie Spiller   Elisabetta Carrea	SSIGE
	Thomas Nussbaumer	QM Fernwärme
	Jérôme Faessler	UniGE
	Andreas Hurni	ASCAD
	Groupe d'accompagnement «réseaux thermiques»	

**N° SAP** 1121499

**Nom du fichier** d\_20200710\_GL-Papier\_Thermische\_Netze\_v1-1\_FR.docx

### Liste des modifications

Version	Date	État	Modifications et remarques	Modifié
1	02/11/2016	Ébauche	Première édition	Had
2	30/03/2017	Draft	État intermédiaire	Mes
3	27/04/2017	Draft	Réflexion	Sum
4	09/06/2017	Draft	Édition de consultation interne	Mes
5	26/07/2017	Draft	Édition de consultation pour le pool d'experts	Mes
6	13/03/2018	V1.0	Version finale avec consultation	Mes/Sum
7	24/07/2020	V1.0	Traduction en français	iQ Services
8	10/07/2020	V1.0	Contrôle de qualité de la traduction	Had

## Résumé

Lors de sa séance du 9 janvier 2015, la Conférence des directeurs de l'énergie a adopté le modèle de prescription énergétique des cantons [MoPEC, 2014]. Un ajustement du facteur de pondération national pour le bois [OFEN, 2009] a été sollicité dans les explications de [MoPEC, 2014]. Suite à cette discussion, le facteur de pondération national pour le chauffage à distance a également été remis en question. Pour l'évaluation des chauffages à distance, il convient de distinguer différents cas. Cependant, la discussion n'a pas pu être menée à bout de manière ciblée car les définitions de termes tels que «chauffage de proximité» et «chauffage à distance» ne sont pas exhaustives.

Ce rapport fournit, pour les discussion de fond sur le thème des réseaux thermiques, une interprétation des différents «types» possibles de réseaux thermiques par rapport aux limites des systèmes et donc au bilan énergétique. Les bases sont lancées pour une compréhension commune de l'approvisionnement en chaleur par réseau. Le document clarifie systématiquement les concepts, discute des topologies possibles des réseaux, analyse les différents cas d'exploitation et, après avoir analysé les éléments d'un réseau thermique et les exigences opérationnelles, effectue une classification par type et établi le calcul du bilan énergétique.

L'analyse et l'étude bibliographique aboutissent à la conclusion que le type et la «dénomination» des réseaux thermiques se basent sur la température (conduite chaude) du réseau. Il en résulte quatre cas, qui sont en outre caractérisés par des schémas types, dans lesquels les technologies nécessaires à l'approvisionnement énergétique du bâtiment (consommateurs) et les paramètres caractéristiques sont présentés.

## Zusammenfassung

Die Energiedirektorenkonferenz hat anlässlich der Plenarversammlung vom 9. Januar 2015 die Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich verabschiedet [MuKE, 2014]. Dabei wurde eine Anpassung des nationalen Gewichtungsfaktors für Holz aus [BFE, 2009] in den Erläuterungen von [MuKE, 2014] in Aussicht gestellt. Ausgelöst durch diese Diskussion wurde auch der nationale Gewichtungsfaktor für Fernwärme in Frage gestellt. Für die Beurteilung von Fernwärmenetzen zeigte sich, dass verschiedene Fälle zu unterscheiden sind – die Diskussion konnte jedoch nicht zielgerichtet geführt werden, weil die Definitionen von Begriffen wie «Nahwärme» und «Fernwärme» nicht vorliegen.

Für die grundlegenden Diskussionen zum Thema «Thermische Netze» wird mit dem vorgelegten Bericht im Sinne eines Grundlagenpapiers eine Auslegeordnung der verschiedenen möglichen «Arten» von Thermischen Netzen bezüglich Systemgrenzen und damit der energetischen Bilanzierung vorgenommen. Es werden Grundlagen für ein gemeinsames Verständnis leitungsgebundener Wärmeversorgung geschaffen. Es werden technische Begriffe geklärt, mögliche Topologien von Netzen erörtert und verschiedene Betriebsfälle analysiert. Anschliessend folgt die Analyse der Elemente eines Thermischen Netzes und Anforderungen an den Betrieb. Als Synthese wird die Typisierung, die Begrifflichkeit für Thermische Netze und die Bilanzierungsmethode vorgeschlagen.

Die Analyse und das Literaturstudium führen abschliessend zur Erkenntnis, dass die Typisierung und die Begrifflichkeit von Thermischen Netzen auf der Basis der Betriebstemperatur des Leiters mit der höheren Temperatur (Warmleiter) zu erfolgen hat. Daraus ergeben sich vier Hauptfälle (Kategorien), welche über typisierte Schemata, Technologien für die Energiebereitstellung beim Bezüger (Gebäude) und Kennzahlen charakterisiert werden.

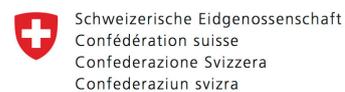
Horw, 13 mars 2018  
Page 4/38  
Rapport - Bases et explications sur les réseaux thermiques

## Remerciements

Ces résultats de recherche ont été élaborés avec le soutien financier d'Innosuisse dans le cadre du SCCER FEEB&D.

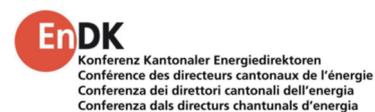


In cooperation with the CTI



Innosuisse – Schweizerische Agentur  
für Innovationsförderung

L'EnFK a également contribué au financement de ces résultats de recherche.



## Contenu

1. Liste des abréviations.....	6
2. Introduction.....	7
2.1. Objectif.....	7
2.2. Public cible .....	7
3. Situation initiale.....	8
4. Termes .....	9
4.1. Chauffages à distance et réseaux thermiques.....	9
4.2. Topologie des réseaux thermiques.....	12
4.3. Mode de fonctionnement des réseaux thermiques .....	14
5. Analyse .....	16
5.1. Éléments des réseaux thermiques .....	16
5.2. Besoins des bâtiments (consommateurs) .....	22
5.3. Perspectives européennes .....	24
5.4. Classification des réseaux thermiques en fonction des températures d'exploitation .....	25
5.5. Terminologie pour les réseaux thermiques .....	27
6. Interaction réseau thermique - bâtiment, étude de cas .....	28
6.1. Cas 1 - Réseau à haute température .....	28
6.2. Cas 2 - Réseau à basse température   Chauffer .....	29
6.3. Cas 3 - Réseau à basse température   Préchauffer .....	30
6.4. Cas 4 - Réseau à basse température   Refroidir.....	31
7. Définition du bilan .....	32
7.1. Bilan du fournisseur de chauffage .....	32
7.2. Bilan du fournisseur de refroidissement .....	33
7.3. Bilan des conduites et des accumulateurs .....	33
7.4. Degré de charge du réseau lié au transport .....	33
7.5. Bilan du consommateur (limite de bilan bâtiment).....	34
8. Conclusion .....	36
9. Bibliographie .....	37

## 1. Liste des abréviations

MoPEC	Modèle de prescriptions énergétiques des cantons
OFEN	Office fédéral de l'énergie
TE	Température extérieure
	Conduite chaude
	Conduite froide
CS	Chauffage au sol
	Radiateur
EC	Eau chaude
$e_p$	Besoins en électricité des pompes ou besoins auxiliaires pour le transport de l'énergie thermique dans les réseaux de chaleur en % de l'énergie fournie à la limite du bâtiment.
$q_v$	Pertes de chaleur des réseaux thermiques en % de l'énergie fournie (limite du bâtiment).

## 2. Introduction

Lors de sa séance du 9 janvier 2015, la Conférence des directeurs de l'énergie a adopté le modèle de prescription énergétique des cantons [MoPEC, 2014]. La nouvelle disposition de [MoPEC, 2014] sur le calcul des exigences pour satisfaire la demande de chaleur de nouvelles constructions (partie D du module de base) utilise les facteurs de pondération nationaux, qui ont également été partiellement utilisés dans la disposition précédente de la «part maximale d'énergies non renouvelables» de [MoPEC, 2008].

Un ajustement du facteur de pondération national pour le bois de l'[OFEN, 2009] a été envisagé dans les explications de [MoPEC, 2014]. À la suite de cette discussion, le facteur de pondération national pour le chauffage à distance a également été remis en question. Pour l'évaluation des réseaux de chauffage à distance, il convient de distinguer différents cas. Cependant, la discussion n'a pas pu être menée à bout de manière ciblée, car les définitions de termes tels que «chauffage de proximité» et «chauffage à distance» ne sont pas disponibles.

Toutefois, l'EnDK et l'OFEN ont introduit de nouveaux facteurs également pour le chauffage à distance le 4 février 2016 [OFEN, 2016]. Cette détermination de facteurs fixes n'est possible que pour les «réseaux de chauffage à distance classiques». Dès qu'il s'agit de «froid à distance», d'autres approches sont nécessaires. Celles-ci seront examinées dans ce rapport.

### 2.1. Objectif

Dans le cadre de la discussion sur les réseaux thermiques, ce rapport présente une analyse des différents «types» possibles de réseaux de chaleur en termes de limites du système ainsi que de bilan énergétique. Les bases sont lancées pour une compréhension commune de l'approvisionnement en chaleur par réseau. Il s'agit également de clarifier les termes utilisés dans la branche.

### 2.2. Public cible

Ce document s'adresse principalement à des ingénieurs intéressés par les questions scientifiques qui recherchent des définitions contraignantes pour les termes utilisés et des limites de bilan pour la planification de réseaux thermiques. En outre, le document vise à aider les experts des services cantonaux de l'énergie à présenter les limites de bilan et à les communiquer de manière compréhensible à l'aide de support visuel.

### 3. Situation initiale

L'Aide à l'utilisation Minergie® [Minergie, 2013], cf. Figure 1 représente le point de départ pour la présentation et les observations dans ce document. Le chapitre 2.5 [Minergie, 2013] «décrit comment le bilan énergétique de réseaux d'énergie [...] doit être pris en compte [...] et de quelle manière les facteurs de pondération doivent être déterminés». Cette Aide à l'utilisation a été révisée, cf. [Minergie, 2017] - la méthode de calcul reste inchangée.

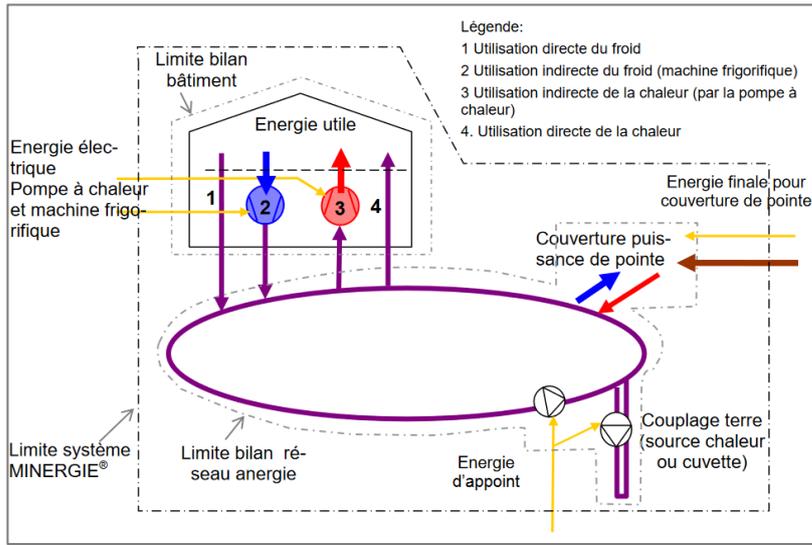


Figure 1: Schéma de principe d'un réseau d'énergie selon [Minergie, 2013]<sup>1</sup>.

Cette situation de départ sera développée au fil du document ci-après. D'une part, le terme «réseau d'énergie» n'est pas très approprié d'un point de vue thermodynamique, cf. [Sulzer, 2014]. D'autre part, suivant la fourchette de températures, certains cas ne sont représentés que de manière insuffisante. C'est pourquoi, ce document de base fournit des précisions sur les termes techniques, fait le point sur les topologies possibles des réseaux et analyse différents cas d'exploitation. Il s'ensuit une analyse des éléments d'un réseau thermique et des exigences relatives à son exploitation. En guise de synthèse, le rapport propose la classification par type, terminologie des réseaux thermiques et la méthode de bilan.

<sup>1</sup> Le prélèvement d'énergie utile n° 4 ne figure pas dans la légende, mais représente le prélèvement direct de rejets thermiques à basse température.

## 4. Termes

### 4.1. Chauffages à distance et réseaux thermiques

#### 4.1.1. Définitions du chauffage à distance dans l'espace germanophone

Diverses définitions du chauffage à distance ont déjà été formulées par le passé:

- a. **Approvisionnement par chauffage à distance (Suisse):** «Système qui génère de la chaleur pour l'approvisionnement en chauffage et en eau chaude sanitaire des ménages, des commerces et industries, ainsi que de la chaleur industrielle pour les hôpitaux, l'industrie et le commerce, et qui dessert sous forme d'eau chaude ou de vapeur les consommateurs à travers un réseau de distribution». [Scheller, 1980]
- b. **Guide de planification chauffage à distance (Suisse):** «On entend ici par chauffage à distance un système dont le réseau principal de transport et de distribution emprunte le domaine public et où la chaleur est vendue à des tiers» [Thalmann, 2017] basé sur l'[OFEN, 2014]
- c. **Association suisse du chauffage à distance:** «Le chauffage à distance signifie que la production de chaleur ne se fait pas directement sur le lieu de consommation et que l'énergie finale est acheminée vers l'utilisateur.» [ASCAD , 2017]
- d. **Statistique de l'énergie, OFEN (Suisse):** «On entend par chaleur à distance, la chaleur transportée par le réseau principal et celui de distribution qui sollicite le domaine public et qui est vendue à des tiers à des tarifs fixés à l'avance.» (p. 36) [OFEN, 2014]
- e. **AGFW<sup>2</sup> (Allemagne):** «Le chauffage à distance est la chaleur d'origine quelconque qui est fournie à des fins commerciales sur la base d'un contrat et contre rémunération à l'aide d'un fluide porteur (généralement de l'eau chaude ou de la vapeur) et dont la fourniture ne remplit aucune obligation accessoire relevant du droit du bail». [AGFW , 2017]
- f. **Aide à l'application EN-101 (Suisse):** Sont considérés comme «chauffage à distance», les réseaux de chaleur qui remplissent parallèlement plusieurs des conditions suivantes:
  - La chaleur mesurée par des compteurs est vendue aux consommateurs finaux à des tarifs fixés à l'avance.
  - Plusieurs bâtiments de nature différente sont raccordés.
  - La propriété du réseau de chauffage à distance revient au secteur public.
  - Le réseau principal de transport et de distribution occupe un terrain public, ou bien le réseau s'étend sur plusieurs parcelles.
  - Le réseau de chauffage à distance figure sur les plans énergétiques (directeurs) ou similaires.

Ne sont pas considérés comme chauffage à distance les réseaux de chaleur qui remplissent habituellement l'une des conditions ci-dessous:

- L'installation est exploitée comme système de chauffage commun, ce qui signifie, par exemple, que les propriétaires peuvent influencer le type de production de chaleur («communauté d'exploitation de chauffage»). Par exemple: 5 maisons individuelles se partagent un système de chauffage commun.

---

<sup>2</sup> L'association efficace pour la chaleur, le froid et les CCF. – [www.agfw.de](http://www.agfw.de)

- La facturation se fait par décompte individuel des frais de chauffage (DIFC).
- L'installation de production de chaleur alimente une seule zone incluant des consommateurs définis, par ex. complexe immobilier, centre commercial, bâtiments commerciaux, parc d'exposition, entreprise industrielle, centre scolaire ou lotissement.» [EN-101, 2017]

#### 4.1.2. Chauffage à distance / Froid à distance

Le terme «chauffage à distance» englobe aujourd'hui également les réseaux à basse température («froid à distance»). Dans ces cas, l'infrastructure peut être utilisée directement à des fins de refroidissement. Le terme «chauffage à distance» semble inadéquat pour ce type d'application. Au lieu de parler de «chauffage à distance», il est plutôt recommandé d'utiliser le terme de «réseaux thermiques», afin de tenir dûment compte du fait que ces réseaux peuvent être utilisés à des fins de chauffage ET de refroidissement.

#### 4.1.3. Chauffage à distance / Chauffage de proximité

[Thalmann, 2017] analyse la situation: «Dans le cadre de réseaux plus petits, on parle parfois également de «chauffage de proximité». [...] étant donné que la démarcation entre le chauffage de proximité et le chauffage à distance est relativement floue, les chapitres suivants de ce manuel n'emploient que le terme de chauffage à distance. En outre, en Allemagne, seul le terme «chauffage à distance» est considéré comme techniquement et juridiquement correct [...], cf. [BGH, 1990]. Physiquement, il n'y a pas de différence entre le chauffage de proximité et le chauffage à distance. Cette impression est partagée par [AGFW, 2017] et [Isoplus, 2017].

Les auteurs de ce document de base recommandent donc de ne pas faire de différence entre le chauffage de proximité et le chauffage à distance, et de parler plutôt de réseaux thermiques.

#### 4.1.4. Différenciation des réseaux thermiques par rapport au modèle d'exploitation

La définition des «systèmes de chauffage communs» dans [EN-101, 2016] tente de différencier les modèles d'exploitation des réseaux thermiques. Deux modèles sont comparés:

- Si les coûts totaux encourus sont *répartis* (coûts annuels divisés par la consommation annuelle), les exploitants de la «communauté d'exploitation du chauffage» *partagent* également de manière solidaire le risque d'exploitation (fuite, éventuelle défaillance prématurée, etc.).  
**Répartition des coûts: il s'agit d'un «système de chauffage commun».**
- En revanche, si des *redevances sont perçues*, l'exploitant du service «réseau thermique» doit *calculer* le risque en fixant des tarifs à caractère contraignant à l'avance (en termes de puissance, d'énergie, de volume d'eau, etc.) et supporter ainsi la totalité des risques liés à l'exploitation de l'installation.

**Facturation des coûts: il s'agit d'une offre de services que l'on peut généralement qualifier de «chauffage à distance».**

#### 4.1.5. Définition des réseaux thermiques (chauffage à distance)

Les conditions physiques de base doivent être utilisées pour définir les réseaux thermiques. Les réseaux thermiques présentent trois caractéristiques:

- **La fourniture d'énergie (fournisseur) et la consommation d'énergie (consommateur) sont séparées dans l'espace.** L'EGID (identificateur fédéral de bâtiment) peut par exemple être utilisé à cet effet. [OFS , 2017]
- **En raison de la séparation spatiale, un transport est nécessaire. Ce transport engendre inévitablement une certaine perte énergétique** (en termes d'utilisation énergétique, une perte d'énergie peut aussi représenter un apport énergétique dans le réseau de distribution). L'énergie de pompage correspond dans tous les cas soit à un apport énergétique (chaleur) ou à une perte énergétique (pression).
- Pour différencier les réseaux thermiques des autres types de réseaux, la définition peut être rendue plus précise **en supposant que les réseaux thermiques sont basés sur un transport d'énergie par conduites à travers un fluide pour une utilisation directe ou indirecte.**

Pour définir les réseaux thermiques, les auteurs postulent donc la formulation suivante:

**«Un réseau thermique, désigné habituellement par «chauffage à distance», est utilisé pour transmettre de l'énergie thermique au moyen d'un fluide pour une utilisation directe ou indirecte. En raison de la séparation spatiale entre le fournisseur et le consommateur, un transport est nécessaire, ce qui entraîne généralement une perte d'énergie thermique. La séparation spatiale est définie lorsque les numéros EGID de la source/du puits de chaleur et d'au moins un consommateur de chaleur sont différents.**

## 4.2. Topologie des réseaux thermiques

Par topologie des réseaux thermiques, les auteurs entendent la conception spatiale et hydraulique, qu'il faut distinguer du mode de fonctionnement (cf. 4.3).

### 4.2.1. Réseaux à structure radiale, en boucle, maillée

La littérature présente diverses manières de catégoriser la topologie des réseaux thermiques. Dans certains cas, il sera également tenu compte de l'évolution des réseaux dans le temps ou de la position. [Scheller, 1980] décrit ceci comme suit: «Lors de la mise en place d'un réseau de chauffage à distance, la première étape consiste à créer un réseau à structure radiale qui relie le système de chauffage central aux consommateurs de chaleur. Pour des raisons de sécurité d'approvisionnement, les faisceaux seront reliés entre eux dès que possible, transformant ainsi le réseau à structure radiale en un réseau maillé».

[Glück, 1985] fait également une distinction fondamentale entre les réseaux à structure radiale et les réseaux maillés, et énumère un cas particulier pour chacun d'eux: le réseau linéaire comme sous-catégorie du réseau à structure radiale et le réseau en boucle comme sous-catégorie du réseau maillé. [Frederiksen, 2013] fait la distinction entre les stades de développement (structure arborescente, structure arborescente mise en réseau, réseau en boucle et réseau maillé) et les structures de réseau (principalement liées à la position de la couverture de la charge de base et de la charge de pointe).

Indépendamment de l'évolution temporelle et de la position de la couverture énergétique, [Dötsch, 1998] distingue trois types fondamentaux de réseaux thermiques (cf. Figure 2). «Pour les réseaux thermiques de petite et moyenne taille, les réseaux à structure radiale doivent être favorisés, car ils ont la longueur de tracé la plus courte. Les réseaux en boucle permettent l'intégration de plusieurs producteurs à différents emplacements; toutefois, ils sont plus coûteux, car la longueur du tracé et le diamètre nominal des conduites en boucle sont plus importants. Cet inconvénient est compensé par l'avantage d'une plus grande sécurité d'approvisionnement et d'une meilleure extensibilité. Les réseaux maillés, qui assurent une sécurité d'approvisionnement optimale et de meilleures possibilités d'extension, ne sont mis en place que pour les grands réseaux de distribution de chaleur en raison de leurs coûts d'investissement élevés».

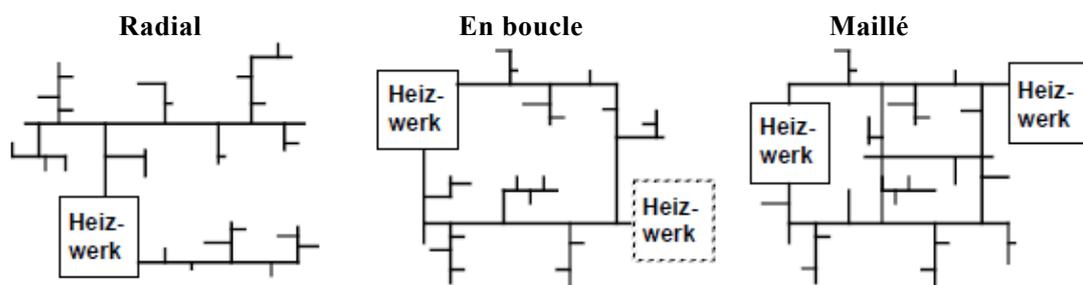


Figure 2: Aperçu des différents types de réseaux. [Dötsch, 1998]

Les caractéristiques typiques de la classification des réseaux sont résumées ci-dessous:

- **Réseau à structure radiale:** il existe un flux hydraulique clair pour le fluide d'approvisionnement entre le fournisseur et le consommateur.
- **Réseau en boucle:** il existe deux flux hydrauliques possibles pour le fluide d'approvisionnement entre le fournisseur le consommateur. Les conditions de pression dans le réseau s'équilibrent.

- **Réseau maillé:** il existe plus de deux flux hydrauliques possibles pour le fluide d'approvisionnement entre le fournisseur et le consommateur. Les conditions de pression dans le réseau s'équilibrent.

#### 4.2.2. Nombre de conduites

Les caractéristiques les plus marquantes de systèmes allant de une à quatre conduites sont décrites ci-après, les systèmes de réseau pouvant être constitués d'un nombre quelconque de conduites:

- **1 conduite:** une seule conduite est dirigée vers le consommateur. Le fluide s'écoule depuis le consommateur et est restitué à l'environnement - il s'agit d'un système ouvert.
- **2 conduites:** une conduite chaude et une conduite froide ayant des flux massiques identiques forment un système fermé entre le fournisseur et le consommateur.
- **3 conduites:** autrefois, il s'agissait souvent d'un système à deux conduites aller chaudes (l'une à température constante, l'autre à température variable et réglable) et d'une conduite retour froide (cf. également [Dötsch, 1998] et [Glück, 1985]).

Les systèmes actuels sont souvent conçus avec deux conduites aller à des niveaux de température différents et une conduite retour commune. Le prélèvement se fait à partir de la conduite aller la plus favorable en termes de température. Des concepts plus récents utilisent les trois conduites avec des températures différentes. Le prélèvement se fait à partir de la conduite la plus favorable en termes de température (c'est-à-dire celle qui entraîne une perte exergétique minimale). Le retour a également lieu à partir de la conduite la plus favorable en termes de température (avec la perte exergétique la plus faible). Le fournisseur doit garantir la compensation du flux massique et les différences de température entre les conduites.

- **4 conduites:** habituellement, un système à 4 conduites est conçu à partir d'un double système à 2 conduites. Pour un réseau dirigé, on parle de conduite aller/retour chaude et de conduite aller/retour froide. Il est cependant également possible de procéder en fonction de la «température la plus favorable», de manière analogue à la procédure du système à 3 conduites décrite ci-dessus (dans le but de minimiser la perte exergétique).

En fait, chaque prélèvement dans des systèmes fermés, est basé sur un système à 2 conduites avec un flux massique de prélèvement et d'alimentation<sup>3</sup> avec une différence de température. L'énergie ainsi fournie<sup>4</sup> est utilisée par le consommateur. Les températures de prélèvement et de restitution doivent être choisies aussi proches que possible des températures d'exploitation des conduites existantes du réseau thermique afin de minimiser les pertes exergétiques.

---

<sup>3</sup> Également connu sous le nom de flux massique fourni ou restitué.

<sup>4</sup> [SIA 380, 2015] «Énergie finale totale fournie sur le périmètre du bilan énergétique pendant la période de calcul». Cela comprend l'énergie de chauffage et de refroidissement fournie.

### 4.3. Mode de fonctionnement des réseaux thermiques

Le mode de fonctionnement des réseaux thermiques permet d'examiner la relation entre le réseau et le consommateur. On distingue des différences importantes, qui se réfèrent toutes aux derniers mètres de raccordement des conduites (raccordement des bâtiments).

#### 4.3.1. Flux de fluide: dirigé et non dirigé

La désignation de réseaux dirigés ou non dirigés fait référence à la direction du flux entre le réseau thermique et le consommateur.

- **Réseaux dirigés: il n'y a qu'un seul sens de flux entre le réseau et le consommateur.**  
Dans un réseau dirigé, une pompe principale centralisée est installée chez le fournisseur pour acheminer le fluide vers les consommateurs individuels. Le sens du flux dans les conduites respectives est ainsi déterminé pour chaque consommateur. Dans ce cas, il est recommandé d'utiliser les dénominations «aller» et «retour». <sup>5</sup>
- **Réseaux non dirigés: il y a deux sens de flux entre le réseau et le consommateur.**  
Dans un réseau non dirigé, chaque consommateur dispose de sa propre pompe de circulation décentralisée qui lui permet de prélever le fluide. L'installation ou la commutation de la pompe détermine le sens du flux dans les conduites respectives entre le consommateur et le réseau thermique. La pompe décentralisée peut prélever le fluide ou alimenter le système à partir de n'importe quelle conduite existante.

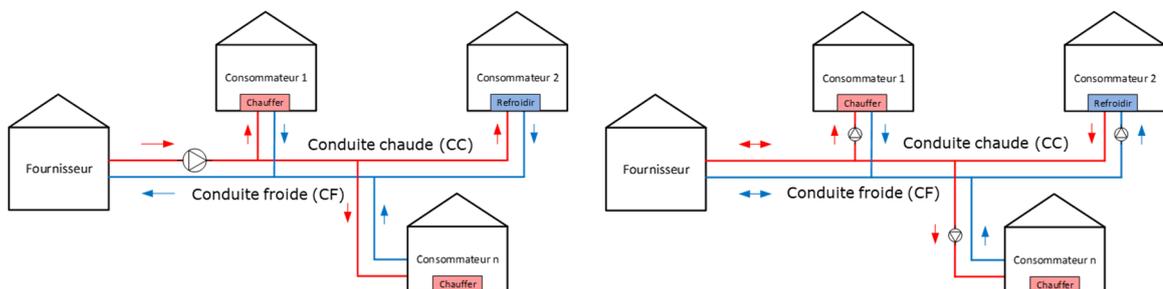


Figure 3: Différence entre un réseau dirigé (à gauche) et un réseau non dirigé (à droite) – l'élément déterminant est la direction du fluide.

<sup>5</sup> Cependant, cela ne permet toujours pas de se prononcer sur les températures (par exemple, il existe un réseau dirigé dans lequel la chaleur est prélevée dans la conduite aller, mais en même temps le refroidissement est injecté dans la conduite retour; cf. Figure 3 à gauche avec une température de la conduite chaude  $t_{WL} < t_R$  (= température de la conduite froide consommateur 2) et une perte de mélange dans la conduite froide).

### 4.3.2. Flux d'énergie: unidirectionnel et bidirectionnel

La désignation de réseaux unidirectionnels ou bidirectionnels fait référence à la direction du flux énergétique entre le réseau thermique et le consommateur.

- **Réseaux unidirectionnels: il n'existe qu'un seul sens de flux d'énergie entre le réseau et le consommateur.**  
Un réseau unidirectionnel est déterminé par le sens du flux d'énergie qui va toujours, dans le cas du chauffage, de la source de chaleur (fournisseur) vers les puits de chaleur (consommateurs) ou, dans le cas du refroidissement, des sources de chaleur (consommateurs) vers le puits de chaleur (fournisseur).
- **Réseaux bidirectionnels: il existe deux sens de flux d'énergie entre le réseau et le consommateur.**  
Dans un réseau bidirectionnel, le consommateur peut être aussi bien une source de chaleur qu'un puits de chaleur. Le flux d'énergie entre le réseau thermique et le consommateur peut se faire dans les deux sens.

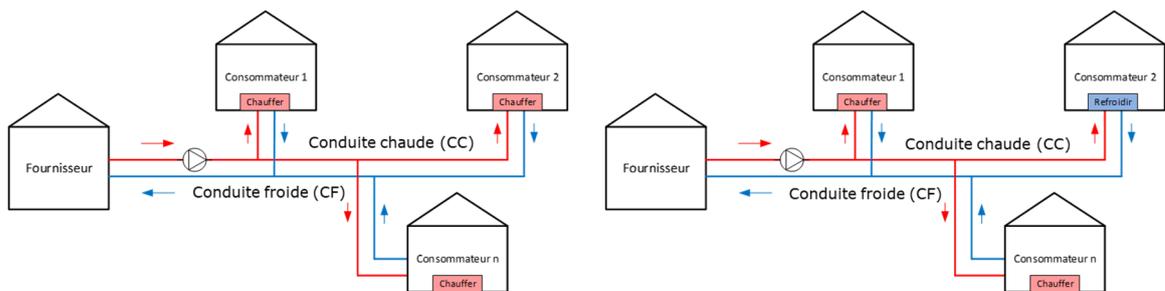


Figure 4: Différence entre un réseau unidirectionnel (à gauche) et un réseau bidirectionnel (à droite) - l'élément déterminant est la direction du flux énergétique.

### 4.3.3. Résumé des modes de fonctionnement

Grâce aux définitions présentées ci-dessus, les réseaux thermiques peuvent être catégorisés en fonction de leur mode d'exploitation. Seul la direction du flux hydraulique ou énergétique entre le réseau thermique et le consommateur est pertinente. Le sens d'écoulement du fluide à l'intérieur du réseau thermique n'est donc pas définie (cf. ci-dessous). Par ailleurs, toutes les combinaisons ne sont pas réalisables, voir la Figure 5 ci-dessous.

		Direction du flux énergétique	
		unidirectionnel	bidirectionnel
Direction du flux hydraulique	dirigé	Mode chauffage OU refroidissement Pompe centralisée (aller et retour ainsi que conduite chaude et conduite froide judicieux)	Mode chauffage ET refroidissement Pompe centralisée (aller et retour judicieux, conduite chaude/froide alterne selon le mode de fonctionnement)
	non dirigé	non applicable (unidirectionnel, requiert une direction du énergétique, non dirigé, requiert deux sens de flux de fluide)	Mode chauffage ET refroidissement Pompe décentralisée Seules les désignations conduite chaude et conduite froide sont judicieuses

Figure 5: Catégorisation des différents modes d'exploitation des réseaux thermiques.

## 5. Analyse

### 5.1. Éléments des réseaux thermiques

Chaque élément des réseaux thermiques est examiné ci-après sous une forme générale et abstraite. Les réseaux thermiques ne disposent pas tous de l'ensemble de ces éléments. La liste présente les éléments principaux. Les interfaces et les éventuelles limites du système de ces éléments sont également examinées. Pour clarifier les choses, la représentation (cf. Figure 6) s'écarte délibérément de [Minergie, 2013].

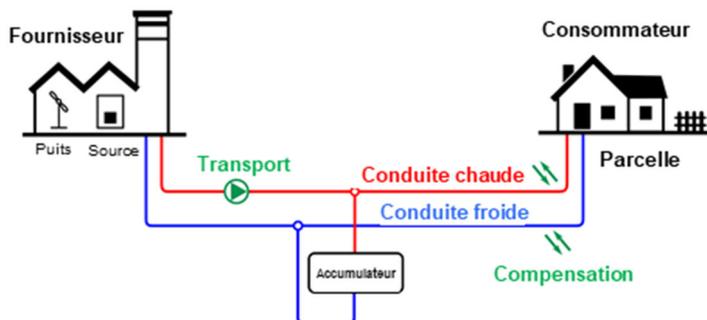


Figure 6: Éléments essentiels des réseaux thermiques, la présentation prend en compte les éléments principaux; les interfaces et les limites du système sont analysées en détail ci-dessous.

#### 5.1.1. Aller/retour ou conduite chaude/conduite froide

Les définitions présentées au chapitre 4.3 révèlent déjà qu'avec l'extension des modes d'exploitation des réseaux thermiques, d'une manière générale, les dénominations habituelles «aller» et «retour» perdent de signification. Elles ne permettent notamment pas de se prononcer sur les températures de fonctionnement de la conduite correspondante, bien que ce soit l'une des caractéristiques les plus importantes, en particulier dans les réseaux à basse température, et qu'elles témoignent de la «qualité» de l'énergie fournie. En cas de fonctionnement bidirectionnel, certains consommateurs prélèveront l'énergie dans le réseau thermique, tandis que d'autres l'alimenteront en énergie. Les termes «aller» et «retour» sont insuffisants, en particulier dans le cas de réseaux non dirigés (cf. Figure 7).

Conduite chaude  
Conduite froide

Figure 7: Les dénominations aller et retour sont remplacées par conduite chaude et conduite froide

Dans les réseaux dirigés et bidirectionnels, une distinction claire et nette entre «conduite chaude» et «conduite froide» est difficile. Dans de tels réseaux, en mode chauffage, c'est-à-dire lorsque les consommateurs prélèvent surtout de la chaleur, la conduite aller correspond également à la conduite chaude. En mode refroidissement, c'est-à-dire lorsque les consommateurs fournissent surtout de la chaleur, la conduite aller est plus froide et la conduite chaude correspondrait dans ce cas à la conduite retour.

Bien que ce réseau dirigé et bidirectionnel soit un cas particulier, il est recommandé de toujours et exclusivement parler de conduite chaude et conduite froide. Si la conduite chaude et la conduite

froide changent en raison du mode d'exploitation, il serait judicieux de noter le cas correspondant (mode chauffage/mode refroidissement) à côté. Ainsi, les conditions de température sont définies et le flux hydraulique est secondaire. Dans un système à 3 conduites, on pourrait parler de «conduite chaude», «conduite du milieu» et «conduite froide». Dans le système à 4 conduites, la mise en œuvre logique serait conduite chaude, conduite du milieu chaude, conduite du milieu froide et conduite froide.

### 5.1.2. Source et puits

Bien que les réseaux thermiques soient utilisés aussi bien pour le chauffage que pour le refroidissement, les termes «source» et «puits» sont physiquement invariables et toujours définis en fonction du flux énergétique. Dans le cas d'un transfert d'énergie thermique provenant du réseau, l'agent correspondant est qualifié de «puits», tandis que dans le cas d'un apport de chaleur au réseau, l'agent est qualifié de «source».

La procédure ci-dessous décrit comment les concepts, indépendamment de leur intégration dans le réseau thermique, peuvent être considérés comme des agents. Le réseau thermique est considéré comme étant un prestataire de services thermiques. Le consommateur utilise le service du réseau thermique, et le fournisseur s'assure que le réseau thermique fournit le service à tout moment. Un «déficit/excédent» réduit/améliore la capacité du réseau thermique à fournir le service demandé (cf. Figure 8). Ce «déficit/excédent» doit toujours être pris en compte dans le cadre de la fourniture du service demandé et s'inscrit dans le bilan. Au lieu de déficit/excédent, on peut utiliser le terme général de «compensation».

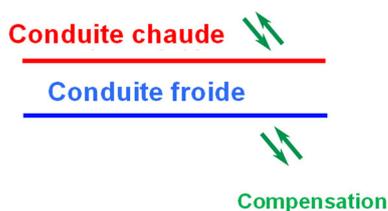


Figure 8: Une «compensation» réduit ou améliore la capacité du réseau thermique à fournir le service demandé et doit donc être considérée indépendamment de la direction du flux énergétique.

### 5.1.3. Consommateur

Dans le contexte des réseaux thermiques, le terme «consommateur» doit être considéré de manière plus différenciée. Ce terme ne décrit pas la consommation d'énergie du réseau thermique (c'est-à-dire la fonction «puits»), mais la consommation du service du réseau thermique, qui fournit le flux d'énergie requis (cf. Figure 9).

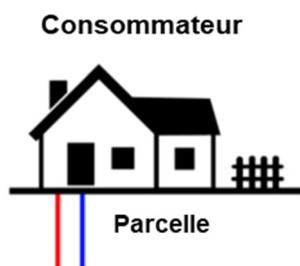


Figure 9: Le consommateur et sa relation avec le réseau thermique.

#### 5.1.4. Fournisseur

Il en va de même pour le terme «fournisseur» dans le contexte des réseaux thermiques. Il ne s'agit pas de la fourniture d'énergie au réseau thermique («source»), mais du service permettant au réseau thermique de fournir le flux d'énergie requis pour un bilan énergétique équilibré. En outre, le fournisseur doit veiller à ce que les températures de fonctionnement requises dans les conduites existantes soient disponibles à tout moment dans les plages de température autorisées.

Pour assurer la robustesse du fonctionnement du côté du fournisseur, différentes sources et puits sont souvent ajoutés (cf. Figure 10). Une unité de refroidissement à air/saumure classique peut, par exemple, fonctionner comme source de chaleur en automne (apport de chaleur au système «réseau thermique»), par exemple pour la régénération du stockage de l'énergie géothermique) ou servir également de puits de chaleur au printemps (refroidissement). Cet élément remplit donc à la fois la fonction de source et de puits (décalée dans le temps).

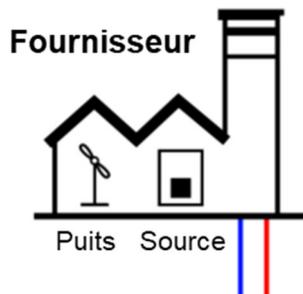


Figure 10: Si nécessaire, le fournisseur doit prévoir des sources et des puits pour assurer la fourniture du service.

#### 5.1.5. Stockage

Les systèmes de stockage thermique peuvent contribuer à lisser les pointes de charge ou de la demande et ainsi à augmenter la capacité d'approvisionnement. En outre, ces systèmes peuvent stocker la chaleur accumulée en dehors des périodes requises et la restituer ultérieurement, si nécessaire. Les accumulateurs peuvent être positionnés localement afin de lisser les performances de transmission des réseaux thermiques. Une position centralisée se prête à un approvisionnement énergétique discontinu et une position décentralisée à une demande énergétique discontinue. Les systèmes de stockage décentralisés permettent ainsi d'augmenter la capacité d'approvisionnement des réseaux thermiques.

Le dimensionnement des accumulateurs dépend de leur fonction: stockage à court terme avec de nombreux cycles de charge (> 20 par an) ou stockage à long terme avec peu de cycles de charge (1 à 20 par an), un stockage avec un seul cycle de charge par an (idéal) étant considéré comme un stockage saisonnier [Ködel, 2017]).

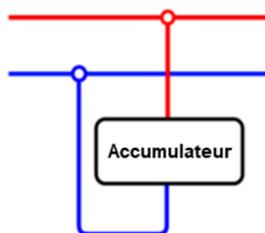


Figure 11: Les accumulateurs peuvent être réalisés de manière localement dissociée du fournisseur.

Le cas particulier des réseaux thermiques en mode chauffage et refroidissement repose sur le principe que les rejets thermiques estivaux peuvent être utilisés en hiver (décalage saisonnier). Actuellement, ce sont principalement des accumulateurs d'énergie géothermique (champs de sondes géothermiques) qui sont utilisés. À l'avenir, des systèmes de stockage chimique et, si nécessaire, thermomécanique pourront également être utilisés pour le stockage à long terme.

### 5.1.6. Transport du fluide

Comme mentionné ci-dessus, la fourniture d'énergie (fournisseur) et la consommation d'énergie (consommateur) sont séparées dans l'espace. Le transport nécessaire du fluide peut être réalisé de manière centralisée (réseaux dirigés) ou décentralisée (réseaux non dirigés), selon le mode d'exploitation. En ce qui concerne la limite du système du réseau thermique, il importe peu de savoir à quelle position dans le réseau, l'énergie de transport est fournie (cf. Figure 12). Les dépenses pour le transport sont toujours prises en compte dans le bilan du réseau thermique.



Figure 12: Les dépenses pour le transport sont toujours affectées au réseau thermique.

### 5.1.7. Limites du système des réseaux thermiques

Avec les termes mentionnés ci-dessus, des limites différentes doivent être appliquées au bilan des réseaux thermiques par rapport à celles habituellement supposées pour la réalisation physique. Les exploitants de réseau définissent généralement l'interface d'installation comme le «raccordement du bâtiment» juste avant ou après la percée du mur extérieur. Cette interface n'est pas appropriée dans le cadre de bilan de réseaux thermiques.

Les consommateurs qui sont raccordés par une séparation du réseau (échangeur de chaleur) sont plus faciles à gérer par rapport à la limite du système. L'échangeur de chaleur ou plusieurs échangeurs de chaleur constituent la limite du système entre l'installation du bâtiment (consommateur) et le réseau thermique. Ceci vaut aussi bien pour les réseaux dirigés que les réseaux non dirigés. Dans les deux cas, la pompe centralisée/décentralisée du circuit primaire (réseau thermique) est incluse dans la limite de bilan du réseau (cf. Figure 13).

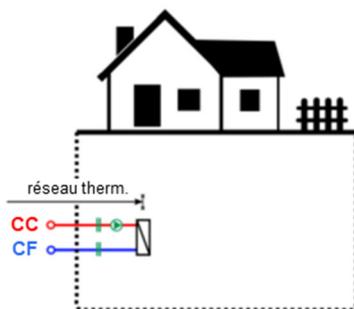


Figure 13: Raccordement du bâtiment par l'échangeur de chaleur, qui sert de limite du système entre le réseau thermique et l'installation du bâtiment

Les consommateurs qui sont raccordés (directement) sans être séparés du réseau sont plus difficiles à délimiter. Si le réseau thermique fonctionne en mode dirigé, la distribution est réalisée sous pression et la vanne de régulation de la courbe de chauffage/refroidissement <sup>6</sup> ou la vanne marche/arrêt de la préparation de l'eau chaude <sup>7</sup> peut être définie comme étant la limite du système (cf. Figure 14).

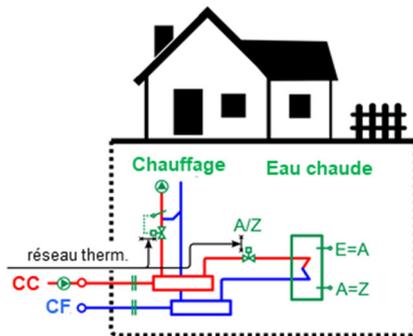


Figure 14: Raccordement direct du bâtiment: dans le cas d'une distribution sous pression (réseau dirigé), les vannes de régulation servent de limite du système.

Si le réseau fonctionne en mode non dirigé <sup>8</sup>, le côté refoulement de la pompe (en raison de la distribution sans pression dans le réseau thermique) doit être défini comme la limite du système (cf. Figure 15). Avec cette définition, les pompes chargées du transport dans le réseau thermique se trouvent dans tous les cas du côté du réseau. Cette définition tient également compte du fait que les pompes décentralisées interagissent entre elles. Si le réseau est composé de plusieurs consommateurs, les pompes décentralisées doivent compenser la perte de pression accrue dans le réseau. Les pompes décentralisées doivent donc être contrôlées par l'exploitant du réseau thermique.

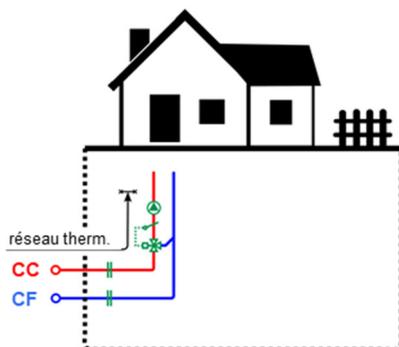


Figure 15: Raccordement direct du bâtiment: dans le cas d'une distribution sans pression (réseau non dirigé), la limite du système doit être fixée du côté refoulement de la pompe d'alimentation décentralisée à l'intérieur du bâtiment.

<sup>6</sup> Distribution sous pression: circuit hydraulique possible pour la courbe de chauffage: le circuit d'injection (circuit de déviation et régulation par vanne sont concevables sur le plan technique, mais entraînent une augmentation indésirable de la température dans la conduite froide).

<sup>7</sup> Sans vanne marche/arrêt, il y aurait une charge continue ou, si le réservoir d'eau chaude était chargé, la température de retour correspondrait à la température aller, ce qui n'est pas souhaitable.

<sup>8</sup> Distribution sans pression: circuit hydraulique possible pour la courbe de chauffage: contrôle par mélange (avec/sans mélange fixe).

Les trois différentes variantes de raccordement décrites ci-dessus donnent lieu aux interfaces suivantes entre le réseau thermique et l'installation du bâtiment (cf. Figure 16). Elles dépendent uniquement de la direction du flux hydraulique. Toutes les variantes peuvent également être exploitées en mode bidirectionnel en fonction de la direction du flux énergétique, cependant, les variantes sans échangeur de chaleur avec une consommation forcée à partir de la conduite chaude conduisent le fluide encore réchauffé dans la conduite froide (cf. 5.1.1).

		Raccordement du bâtiment	
		avec séparation du réseau	sans séparation du réseau
Exploi- tation	dirigé	échangeur de chaleur	vannes de régulation
	non dirigé	échangeur de chaleur	côté refoulement de la pompe

Figure 16: Limites du système entre le réseau thermique et l'installation du bâtiment en fonction du mode de fonctionnement du réseau et du raccordement du bâtiment.

### 5.1.8. L'influence du mode d'exploitation

Le bilan des réseaux thermiques, avec les limites de système décrites ci-dessus, est indépendant de la topologie (cf. chapitre 4.2) et du mode d'exploitation (chapitre 4.3). Il n'influence que le bilan énergétique global, ce qui est souhaité pour l'évaluation. Les éléments dont il faut tenir compte pour le bilan restent toujours les mêmes.

## 5.2. Besoins des bâtiments (consommateurs)

### 5.2.1. Besoins en chaleur - chauffage

Les consommateurs de chaleur dans les bâtiments peuvent avoir des systèmes de chauffage ou des systèmes de ventilation à des fins de confort ou de processus. Chaque système d’approvisionnement en chaleur a une exigence définie en matière de débit massique et de température - dans les systèmes de chauffage, généralement en fonction de la température extérieure, dans les systèmes de ventilation, normalement avec une exigence de température constante. Les exigences en matière de température combinées avec la température différentielle des échangeurs de chaleur utilisés (séparateurs de réseau) déterminent directement si la température de la conduite chaude peut être utilisée. Vous trouverez ci-après des remarques générales, qui doivent être vérifiées et adaptées de manière détaillée en fonction des spécifications concrètes de l’installation.

- **Nouvelles constructions | radiateurs:** selon [MoPEC, 2008] et [MoPEC, 2014] max. 50 °C à la température de dimensionnement de la station météo correspondante - la courbe de chauffage est réalisée par le système de régulation interne du bâtiment.
- **Nouvelles constructions | chauffage au sol:** selon [MoPEC, 2008] et [MoPEC, 2014] max. 35 °C à la température de conception de la station météo correspondante - la courbe de chauffage est réalisée par le système de régulation interne du bâtiment.
- **Nouvelles constructions | installations de ventilation:** selon [MoPEC, 2008] et [MoPEC, 2014] max. 50 °C à la température de dimensionnement de la station météo correspondante, aujourd’hui souvent max. 40 °C, température généralement constante, flux massique variable.
- **Bâtiments existants | radiateurs:** en fonction de la construction existante et des mesures de renouvellement énergétiques - considération différenciée et dimensionnement nécessaire. Des températures aller supérieures à 60 °C étaient encore courantes dans les années 1980.
- **Bâtiments existants | installations de ventilation:** souvent 50 °C et parfois même plus, régulation similaire à celle des systèmes de ventilation des nouvelles constructions.
- **Chaleur de processus:** dépend du processus qui suit, des températures allant jusqu’à 105 °C sont possibles (installations de chauffage de l’eau).

### 5.2.2. Besoins en chaleur - eau chaude

En cas de désinfection thermique, les exigences en matière de température de l’eau chaude sont déterminées par les spécifications relatives à la protection contre les légionelles [OFSP, 2009]. Indépendamment du niveau de risque, il est recommandé de chauffer l’eau chaude utilisée à 60 °C pendant au moins une heure par jour. Il s’agit d’un renforcement de mesures par rapport à des sources plus anciennes [Suissetec, 2001]. Selon [prSIA 385/1, 2016], la situation pourrait s’accentuer dans un avenir proche de sorte qu’une température constante de 60 °C pourrait être déjà exigée au passage de l’eau chaude de l’accumulateur au réseau de distribution d’eau chaude (même pour un niveau de risque «faible», car pour une désinfection thermique quotidienne, il n’existe actuellement comme alternative aucune solution techniquement compétitive sur le marché).

- **Nouvelles constructions (et bâtiments existants) | eau chaude:** il faut considérer une exigence de température de 60 °C avec un faible écart de fluctuation.

### 5.2.3. Besoins en refroidissement - climatisation

Les températures requises ou autorisées pour les systèmes de refroidissement sont spécifiées dans [SIA 382/1, 2014] et n'ont donc pas changé depuis la version précédente [SIA 382/1, 2007]. Les éditions précédentes n'avaient aucune exigence à cet égard, cf. [SIA V382/1, 1992] et [SIA V382/2, 1992]. Des températures plus basses pour les processus sont envisageables.

Les exigences en matière de température combinées avec l'écart de température des échangeurs de chaleur utilisés (séparateurs de réseau) déterminent directement l'utilisation possible de la température de la conduite froide. Vous trouverez ci-après des énoncés généraux, qui doivent être vérifiés et adaptés de manière détaillée aux spécifications concrètes de l'installation.

- **Climatisation sans déshumidification:** temp. de la conduite froide  $\geq 14$  °C.
- **Climatisation avec déshumidification partielle:** temp. de la conduite froide  $\geq 10$  °C.
- **Climatisation avec déshumidification contrôlée:** temp. de la conduite froide  $\geq 6$  °C.

### 5.2.4. Refroidissement de retour

Si la conduite froide ne peut pas être utilisée directement pour le refroidissement, une machine frigorifique ou une pompe à chaleur réversible doit être utilisée. Dans ce cas, la question se pose de savoir si la chaleur de condensation doit être injectée dans une conduite appropriée (généralement la conduite chaude) au lieu d'être évacuée par des refroidisseurs de retour. Ici aussi, des considérations relatives à la température doivent être envisagées de manière analogue aux réflexions faites ci-dessus. Les températures de refroidissement à appliquer de manière générale sont basées sur la directive «Refroidissement» [SICC 2003-3, 2005]. Elles sont différenciées en fonction du système de refroidissement:

- **Systèmes de refroidissement sec:** valeur de référence de la température de sortie du milieu (saumure): 37-41 °C.
- **Systèmes de refroidissement sec avec réseautage ou refroidissement par évaporation:** valeur de référence de la température de sortie du milieu (saumure): 25-29 °C (avec de petites fluctuations de min. 24 C à max. 31 °C).

### 5.2.5. Récapitulation des exigences en matière de température

Il en résulte, avec certaines incertitudes et restrictions (voir ci-dessus), une vue d'ensemble des exigences des températures attendues par les consommateurs (cf. Figure 17).

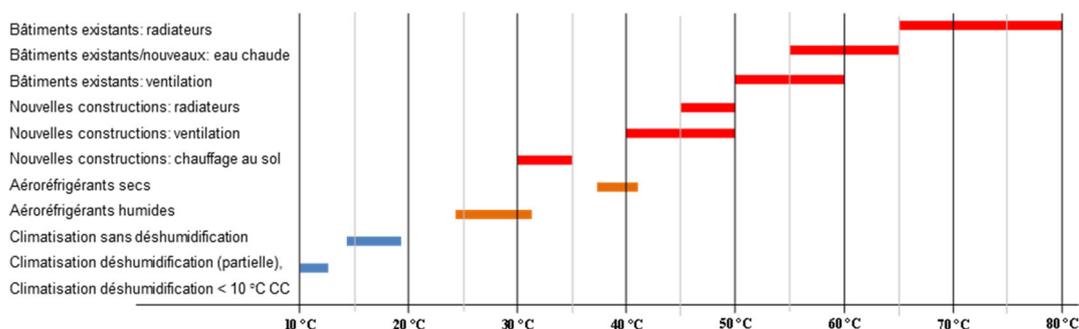


Figure 17: Exigences des températures à considérer par les consommateurs - en rouge: prélèvement à partir de la conduite chaude / en orange: injection dans la conduite chaude / en bleu: prélèvement à partir de la conduite froide (chaleur industrielle / froid industriel).

### 5.3. Perspectives sur l'Europe

La Commission européenne a présenté la Stratégie énergétique 2020 [CE, 2011] qui préconise des «réseaux thermiques à haute efficacité pour le chauffage et le refroidissement» (p. 8) et se concentre explicitement sur les «réseaux de chauffage et de refroidissement intelligents» (p. 16). Sur cette base, un groupe de recherche international mené par des confrères danois a développé la quatrième génération de réseaux thermiques [4DH, 2017]. Le «Head of 4DH research Centre» présente la quatrième génération qui se distingue des trois premières. Les auteurs classent la première génération comme celle qui utilise la vapeur comme fluide (à partir de 1880), principalement aux États-Unis. La deuxième génération utilise de l'eau sous pression avec des températures supérieures à 100 °C (de 1930 à 1970 environ), principalement en Union soviétique. La troisième génération utilise également de l'eau, mais à des températures inférieures à 100 °C (à partir de 1980), principalement en Europe. Dans la quatrième génération, il est prévu de recourir davantage aux sources d'énergie renouvelables et de limiter les températures à 45-50 °C. La subdivision en fonction des températures définie ci-après, postulées par les auteurs de ce document, va encore plus loin.

**Limites:** la classification effectuée au chapitre suivant 5.4 se focalise sur la quatrième génération des réseaux thermiques. Pour les trois premières générations, il existe suffisamment d'ouvrages reconnus, tels que [Thalmann, 2017], [Glück, 1985] ou [Frederiksen, 2013], pour n'en citer que quelques-uns.

#### 5.4. Classification des réseaux thermiques en fonction des températures d'exploitation

L'analyse précédente au chapitre 5.3 montre que la classification des réseaux thermiques a sens en particulier lorsque sont considérées les températures d'exploitation des réseaux.

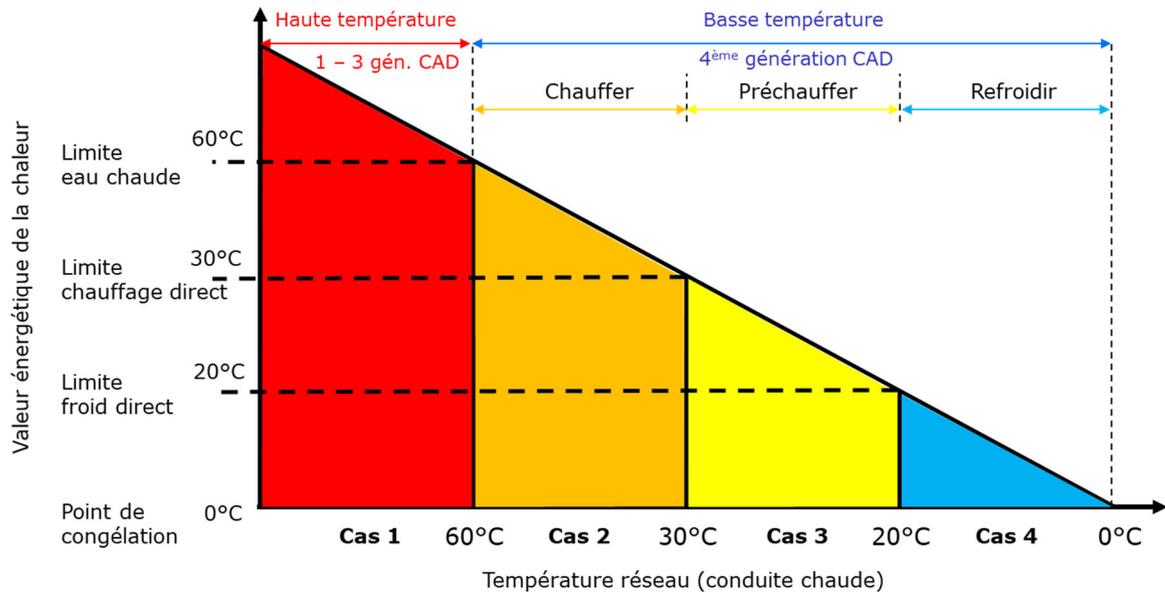


Figure 18: Classification des réseaux thermiques en fonction de la température de la conduite chaude.

	Réseaux thermiques			
	Cas 1	Cas 2	Cas 3	Cas 4
Température conduite chaude	≥ 60°C	60 °C à 30 °C incl.	30 °C à 20 °C incl.	20 °C-0 °C
Dénomination	Haute température	Basse température		
		Chauffer	Préchauffer	Refroidir
Critères déterminants	Limite préparation de l'eau chaude env. 60 °C	Limite chauffage direct env. 30 °C	Limite refroidissement direct env. 20 °C	Point de congélation de l'eau 0 °C
Potentiel thermique du réseau	Chauffage et eau chaude directs	Chauffage direct, préchauffage eau chaude	Préchauffage chauffage et eau chaude, récupération des rejets thermiques du refroidissement	Source de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude, refroidissement direct
Énergie requise dans le bâtiment	Préparation pour le refroidissement et refroidissement de retour	Préparation refroidissement et refroidissement de retour, réchauffer l'eau chaude	Préparation du refroidissement, réchauffer pour le chauffage, réchauffer l'eau chaude	Préparation chauffage et eau chaude

	Réseaux thermiques (suite)			
	Cas 1	Cas 2	Cas 3	Cas 4
Température conduite chaude	≥ 60°C	60 °C à 30 °C incl.	30 °C à 20 °C incl.	20 °C-0 °C
La technologie requise dans le bâtiment	Machine frigorifique et refroidisseur de retour  Éventuellement, utilisation des rejets thermiques des machines frigorifiques pour le préchauffage de l'eau chaude	Machine frigorifique et refroidisseur de retour  Éventuellement utilisation des rejets thermiques de la machine frigorifique pour l'eau chaude et/ou injection dans le réseau thermique  Chauffage d'appoint de l'eau chaude, par exemple avec une pompe à chaleur	Machine frigorifique  Éventuellement utilisation des rejets thermiques de la machine frigorifique pour le chauffage, l'eau chaude et/ou injection dans le réseau thermique  Chauffage et chauffage ultérieur de l'eau chaude, par exemple avec une pompe à chaleur	Chauffage et préparation eau chaude, par ex. avec pompe à chaleur  Éventuellement machine frigorifique pour les basses températures, utilisation des rejets thermiques pour le chauffage, l'eau chaude et/ou injection dans le réseau thermique

Figure 19: Caractérisation des quatre cas de réseaux thermiques examinés dans ce document.

Les réseaux thermiques sont subdivisés en fonction du niveau de température de la conduite chaude, car cela permet de définir les technologies requises pour l'approvisionnement énergétique restant dans le bâtiment.

Dans la perspective actuelle, les réseaux au-dessus de 60°C sont des réseaux à haute température (de différentes générations) et, en dessous de 60°C, des réseaux à basse température. Cette température limite permet de garantir l'approvisionnement en chaleur pour le chauffage et l'eau chaude (EC) dans les bâtiments <sup>9</sup>.

<sup>9</sup> D'autres concepts de protection contre les légionelles dans le système d'eau chaude constituent des exceptions, par exemple la station d'eau fraîche pour la préparation de l'eau chaude.

### 5.5. Terminologie pour les réseaux thermiques

Nom	Conduite chaude ( $\pm 5$ K)	Cas
Réseau à haute température	$T_{CC} \geq 60$ °C	Cas 1
Réseau à basse température	$60$ °C > $T_{CC} \geq 30$ °C	
Chauffer	$60$ °C > $T_{CC} \geq 30$ °C	Cas 2
Préchauffer	$30$ °C > $T_{CC} \geq 20$ °C	Cas 3
Refroidir	$20$ °C > $T_{CC} \geq 0$ °C	Cas 4

Figure 20: Vue d'ensemble des différentes dénominations de réseaux basées sur la température de la conduite chaude. Les indications de température doivent être interprétées avec un écart de  $\pm 5$  K.

**Réseau à haute température:** est en mesure de fournir directement tous les services de chauffage (chauffage, eau chaude).

**Réseau à basse température | Chauffer:** répond directement aux exigences en cas de chauffage (nouvelles constructions), l'eau chaude doit être traitée ultérieurement (protection contre les légionelles), un refroidissement dans le réseau doit être envisagé par rapport à la situation concrète.

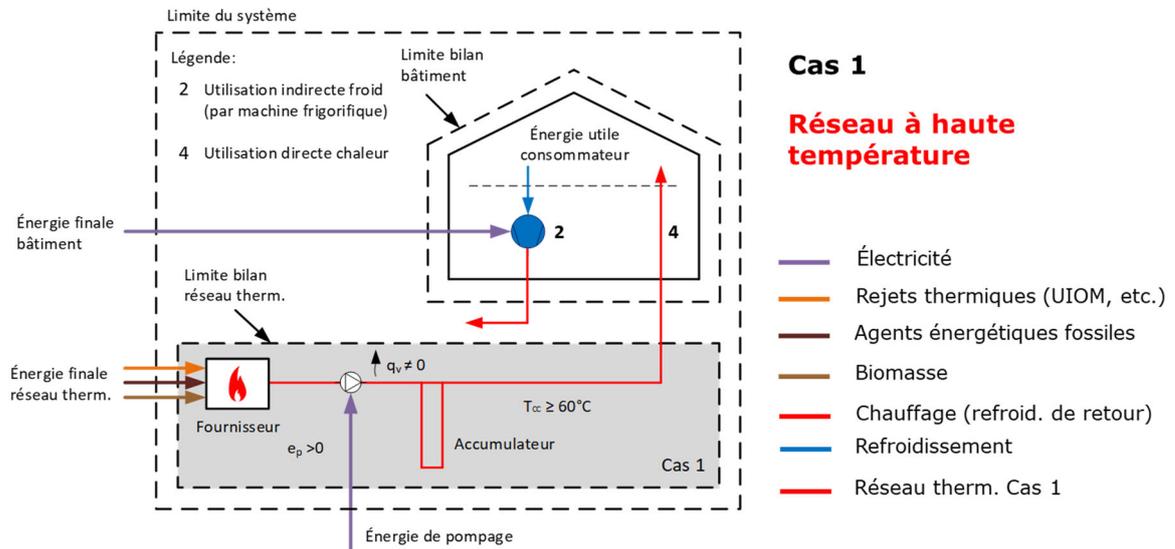
**Réseau à basse température | Préchauffer:** pour toutes les applications de chauffage, un appoint supplémentaire est nécessaire, généralement le refroidissement peut être injecté directement dans le réseau.

**Réseau à basse température | Refroidir:** pour toutes les cas de chauffage, un appoint supplémentaire est nécessaire, généralement le refroidissement peut être fourni directement (ou en cas d'exigences particulières, peut servir de refroidissement retour).

Le chapitre 6 fournit une représentation graphique des quatre cas susmentionnés. Les critères, les valeurs caractéristiques et l'influence sur les technologies dans le bâtiment sont également décrits dans le chapitre suivant.

## 6. Interaction réseau thermique - bâtiment, étude de cas

### 6.1. Cas 1 - Réseau à haute température



#### Au niveau du réseau

Caractéristique	Valeurs typiques	Conditions limites	
Température CC	$\geq 60^\circ\text{C}$	Écart $> 20\text{K}$	$T_{\text{CF}} = \text{env. } T_{\text{CC}}/2 + \text{temp. ext. } [^\circ\text{C}]$
Pertes énergétiques $q_v$	7–13%*	$f$ (épaisseur d'isolation)	$f(T_{\text{CC}}, T_{\text{CF}})$
Énergie de pompage $e_p$	0,6–1,3%*	$D_p \leq 250 \text{ Pa/m}$	$Q \geq 2'000 \text{ MWh/km}\cdot\text{a}$
Sources	UIOM, chauffage à bois, PAC	$T_{\text{CC}} \geq 60^\circ\text{C}$	aussi CCF, aussi fossile
Remarques	Faible énergie de pompage (insignifiant, car $< 1.5\%$ ), pertes thermiques relativement élevées (env. 10%)		

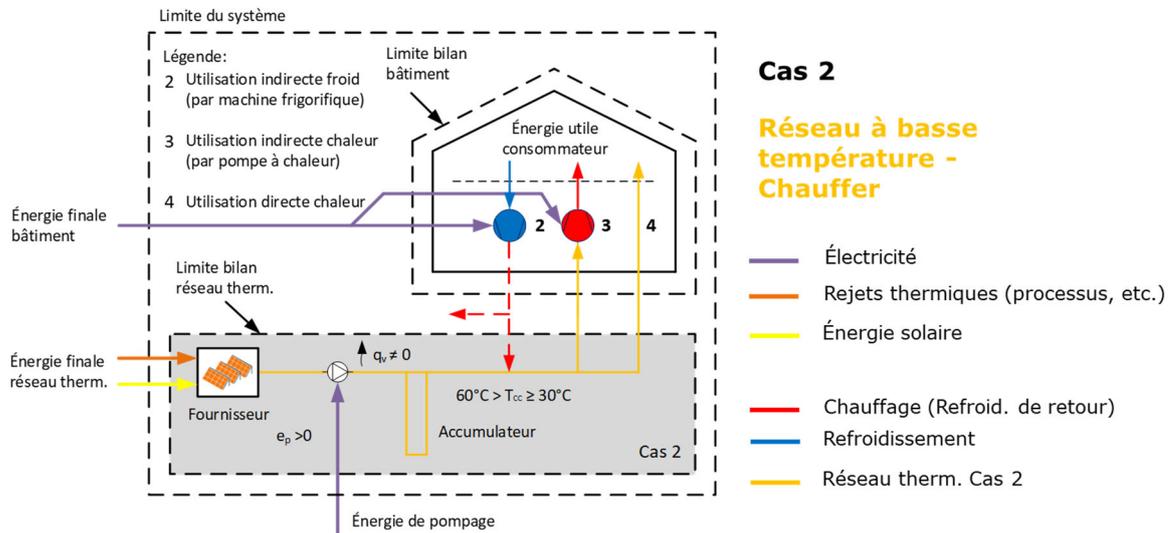
\* sur la base de l'énergie thermique fournie aux consommateurs

Dans ce cas, l'énergie finale fournie est représentée par des rejets thermiques, la biomasse et/ou les énergies fossiles. Bien entendu, les pompes à chaleur à haute température peuvent également être utilisées. Dans ce dernier cas, l'électricité et la chaleur ambiante sont transmises au fournisseur en tant qu'énergie finale et donc inclus dans le bilan énergétique.

#### Au niveau du bâtiment

2. Machine frigorifique et refroidisseur de retour
4. Utilisation directe de la chaleur pour le chauffage et l'eau chaude via des échangeurs de chaleur

## 6.2. Cas 2 - Réseau à basse température | Chauffer



### Au niveau du réseau

Caractéristique	Valeurs typiques	Conditions limites	
Température CC	≥ 30°C	30 °C ≤ T <sub>CC</sub> < 60°C	T <sub>CF</sub> = env. T <sub>CC</sub> /2+temp. ext. [°C]
Pertes énergétiques q <sub>v</sub>	3-7%*	f (épaisseur d'isolation)	f (T <sub>CC</sub> , T <sub>CF</sub> )
Énergie de pompage e <sub>p</sub>	1,3-2%*	D <sub>p</sub> ≤ 250 Pa/m	Q ≥ 2'000 MWh/km·a
Sources	Rejets thermiques de processus, solaire	T <sub>CC</sub> ≥ 60°C	aussi géothermie
Remarques	Énergie de pompage modérément élevée (insignifiant, car env. 2%), pertes thermiques relativement faibles (car < 10%), COP eau chaude indirect = 5-7, COP refroidissement indirect = 4-7 (données indicatives, peuvent varier dans des cas spécifiques)		

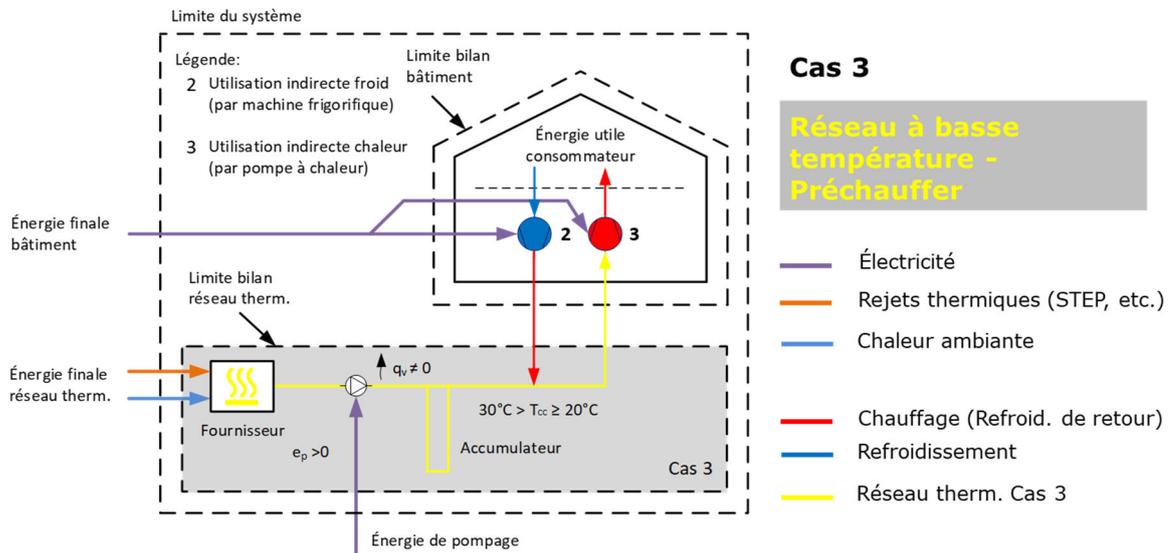
\* sur la base de l'énergie thermique fournie aux consommateurs

L'énergie finale transmise au fournisseur est représentée sous forme de rejets thermiques. Bien entendu, la chaleur ambiante provenant de l'air, de la géothermie, des eaux souterraines, etc. et de l'électricité peut également être transférée au fournisseur, à travers des pompes à chaleur (utilisation de l'électricité) et considérée dans le bilan.

### Au niveau du bâtiment

2. Machine frigorifique, refroidisseur de retour ou injection directe dans le réseau
3. Utilisation indirecte de la chaleur pour l'eau chaude, par exemple avec des pompes à chaleur
4. Utilisation directe de la chaleur pour le chauffage via des échangeurs de chaleur.

### 6.3. Cas 3 - Réseau à basse température | Préchauffer



#### Au niveau du réseau

Caractéristique	Valeurs typiques	Conditions limites	
Température CC	< 30°C	$20^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{CC}} < 60^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{CF}} = \text{env. } (T_{\text{CC}} + \text{temp. ext.})/2$ [°C]
Pertes énergétiques $q_v$	< 3%*	faible isolation	$f(T_{\text{CC}}, T_{\text{CF}})$
Énergie de pompage $e_p$	1,5–2%*	$D_p \leq 250$ Pa/m	$Q \geq 2'000$ MWh/km·a
Sources	Rejets thermiques, chaleur ambiante < 40°C	$T_{\text{CC}} \geq 30^{\circ}\text{C}$	Chaleur à basse température
Remarques	Énergie de pompage modérément élevée, pertes thermiques très faibles (car < 3 %), COP eau chaude = 4-6, COP chauffage indirect = 5-7, COP refroidissement indirect = 5-7 (données indicatives)		

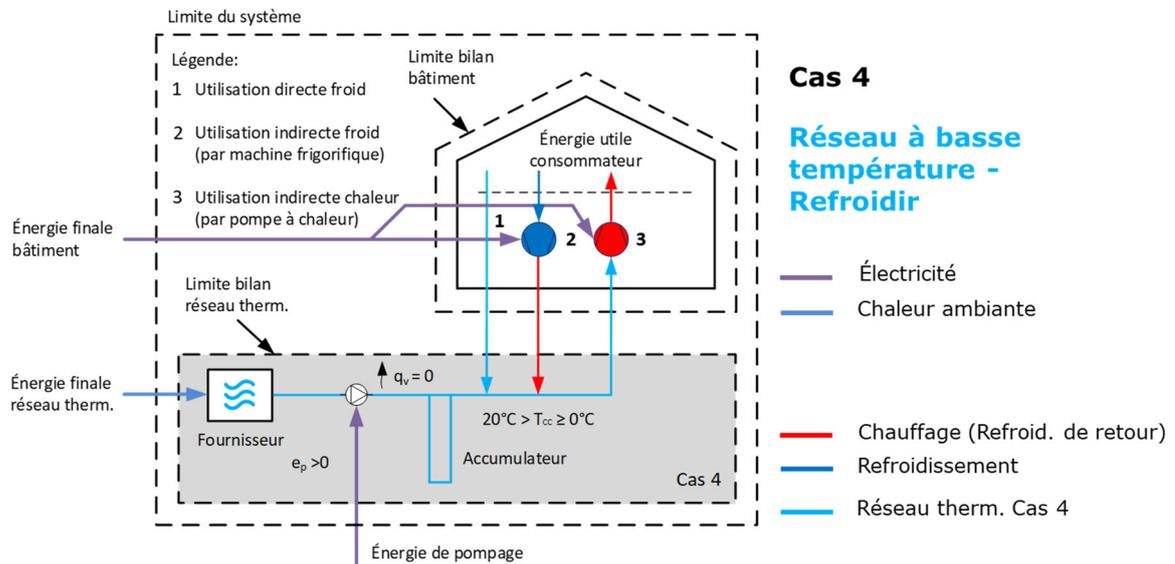
\* sur la base de l'énergie thermique fournie aux consommateurs

L'énergie finale transmise au fournisseur est représentée sous forme de rejets thermiques. Bien entendu, la chaleur de l'environnement provenant de l'air, de la géothermie, des eaux souterraines, etc. et de l'électricité peut également être transmise au fournisseur, traitée et par des pompes à chaleur (utilisation de l'électricité) et portée au bilan. L'énergie fournie aux consommateurs comprend l'énergie de chauffage et de refroidissement.

#### Au niveau du bâtiment

2. Refroidissement direct dans le réseau
3. Utilisation indirecte de la chaleur pour le chauffage et l'eau chaude, par ex. avec des pompes à chaleur.

#### 6.4. Cas 4 - Réseau à basse température | Refroidir



##### Au niveau du réseau

Caractéristique	Valeurs typiques	Conditions limites	
Température CC	< 20°C	$0^{\circ}\text{C} \leq T_{\text{CC}} < 20^{\circ}\text{C}$	$T_{\text{CF}} = \text{env. } T_{\text{CC}} - 6 \text{ K}$
Pertes énergétiques $q_v$	0%*	pas d'isolation	Réseau pour chauffer / refroidir
Énergie de pompage $e_p$	2-3%*	$D_p \leq 125 \text{ Pa/m}$	$Q \geq 2'000 \text{ MWh/km}\cdot\text{a}$
Sources	Chaleur ambiante < 25°C	La source fonctionne comme une masse quasi-isotherme	
Remarques	Énergie de pompage critique si n'est pas contrôlée (car > 2%), pertes thermiques = 0, COP eau chaude = 3-5, COP chauffage indirect = 4-7, COP refroidissement indirect = 5-7, COP refroidissement direct = 12-20 (données indicatives)		

\* sur la base de l'énergie thermique fournie aux consommateurs

L'énergie finale transmise au fournisseur est représentée sous forme de chaleur environnante. Bien entendu, les rejets thermiques peuvent également être fournis ou le niveau de température existant peut être légèrement augmenté à l'aide de pompes à chaleur (utilisation de l'électricité). Ceci doit être inscrit au bilan. L'énergie fournie aux consommateurs comprend l'énergie de chauffage et de refroidissement.

##### Au niveau du bâtiment

1. Utilisation directe du froid via des échangeurs de chaleur.
2. Si un appoint particulier est encore requis, alors refroidissement de retour dans le réseau.
3. Utilisation indirecte de la chaleur pour le chauffage et l'eau chaude via des pompes à chaleur.

## 7. Définition du bilan

Comme le montre la Figure 21 ci-dessous, le service du réseau thermique comprend quatre composantes qui doivent toutes être prises en compte dans le bilan. Nous proposons ci-dessous un modèle de bilan qui s'inspire fortement de celui de l'[OFEN, 2016]. L'énergie finale évaluée, reportée sur la «limite bilan réseau», doit être mise en relation avec l'«énergie fournie». Il en résulte le degré de charge pour la «limite bilan bâtiment».<sup>10</sup>

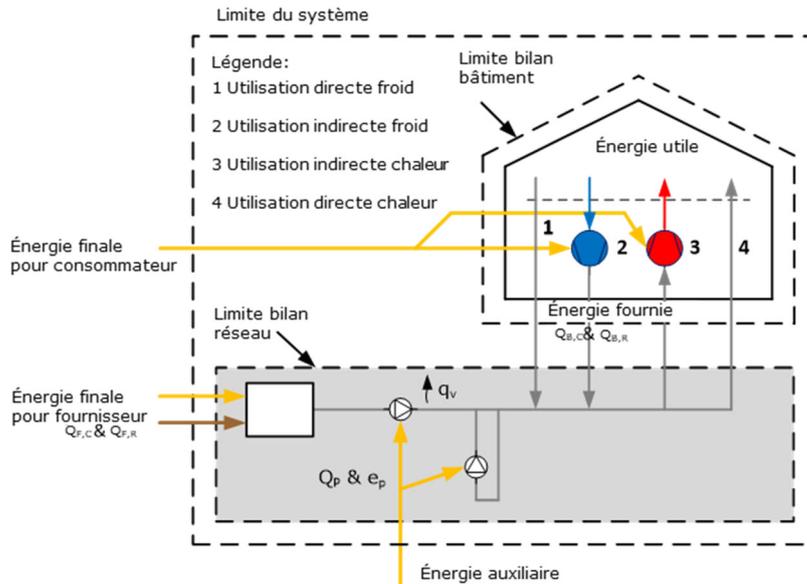


Figure 21: Illustration du système réseau thermique pour le bilan.

### 7.1. Bilan du fournisseur de chauffage

L'ensemble de la préparation pour assurer le service «chauffage» est considéré dans le bilan annuel. La perte survenant dans le réseau pendant la période correspondante (déperdition de chaleur) doit également être couverte et prise en compte par le fournisseur (source).

Pour calculer le degré de charge, seules les parts non renouvelables de l'«énergie finale pour le fournisseur» sont pondérées<sup>11</sup> au moyen de l'[OFEN, 2016] et divisées par la quantité totale de chaleur fournie aux consommateurs. Les rejets thermiques des consommateurs (1 et 2) ne sont pas comptabilisés, mais indirectement pris en compte par une réduction de la fourniture d'énergie finale par le fournisseur (rejets thermiques exploitables à des fins de chauffage).

$$DC_C = \frac{\sum_{\text{tous } i} (Q_{F,C,i} \cdot g_{C,i})}{\sum_{\text{tous } i} (Q_{B,C,i})}$$

$DC_C$  Degré de charge du service chauffage [kWh<sub>pond</sub>/kWh]

$Q_{F,C}$  Input agent énergétique pour la fourniture du service «chauffage» par le fournisseur [kWh]

$g_C$  Facteur de pondération correspondant pour les agents énergétiques [kWh<sub>pond</sub>/kWh].

$Q_{B,C}$  Quantité de chaleur fournie au-delà de la limite de bilan pour les bâtiments («chauffage») [kWh].

<sup>10</sup> Le modèle peut également être appliqué, moyennant de légères modifications, avec d'autres sources de facteurs de pondération ou d'évaluation, cf. [SIA 380, 2015] ou encore [KBOB, 2016].

<sup>11</sup> L'énergie de pompage pour l'énergie de l'environnement, par exemple pompes souterraines, énergie des ventilateurs pour les refroidisseurs d'air, etc. doit également être prise en compte dans le bilan. L'énergie auxiliaire pour le transport est comptabilisée séparément.

## 7.2. Bilan du fournisseur de refroidissement

L'ensemble de la préparation pour assurer le service «refroidissement» est considéré dans le bilan annuel. La perte survenant dans le réseau pendant la période correspondante (déperdition de chaleur) doit également être couverte et prise en compte par le fournisseur (puits).

Pour calculer le degré de charge, seules les parts non renouvelables de l'«énergie finale pour les fournisseurs» sont pondérées<sup>12</sup> au moyen de l'[OFEN, 2016] et divisées par la quantité totale de chaleur absorbée par les consommateurs. Le prélèvement de chaleur par les consommateurs (3 et 4) n'est pas comptabilisé, mais indirectement pris en compte par une réduction de la fourniture d'énergie finale par le fournisseur (prélèvement de chaleur exploitable à des fins de refroidissement).

$$DC_R = \frac{\sum_{tous\ i} (Q_{F,R,i} \cdot g_{R,i})}{\sum_{tous\ i} (Q_{B,R,i})}$$

- DC<sub>R</sub> Degré de charge du service refroidissement [kWh<sub>pond</sub>/kWh]  
 Q<sub>F,R</sub> Input agent énergétique pour la préparation du service «refroidissement» par le fournisseur [kWh]  
 g<sub>R</sub> Facteur de pondération correspondant pour les agents énergétiques [kWh<sub>pond</sub>/kWh].  
 Q<sub>B,R</sub> Quantité de chaleur prélevée au-dessus de la limite de bilan pour les bâtiments («refroidissement») [kWh]

## 7.3. Bilan des conduites et des accumulateurs

Une «compensation» (déficit/excédent des conduites ou accumulateurs) réduit/améliore la capacité du réseau thermique à fournir le service requis. Cette «compensation» est donc toujours prise en compte dans la préparation du service demandé et est considérée dans le bilan de l'«énergie finale pour fournisseurs».

## 7.4. Degré de charge du réseau lié au transport

Le degré de charge du réseau se compose des coûts totaux pour le transport («énergie auxiliaire», indépendante du mode de fonctionnement «chauffage» ou «refroidissement») pondérés par l'[OFEN, 2016] et divisés par l'énergie totale fournie aux consommateurs, c'est-à-dire la quantité de chaleur fournie aux consommateurs et absorbée par les consommateurs.

$$DCR_T = \frac{\sum_{tous\ i} (Q_{P,i} \cdot g_{P,i})}{\sum_{tous\ i} (Q_{B,H,i} + Q_{B,K,i})}$$

- DCR<sub>T</sub> Degré de charge pour les coûts de transport [kWh<sub>pond</sub>/kWh]  
 Q<sub>P</sub> Coûts de transport, «énergie auxiliaire» [kWh]  
 g<sub>P</sub> Facteur de pondération correspondant pour les coûts de transport [kWh<sub>pond</sub>/kWh]  
 Q<sub>B,C</sub> Quantité de chaleur fournie aux bâtiments au-delà de la limite de bilan («chauffage») [kWh].  
 Q<sub>B,R</sub> Quantité de chaleur prélevée au-dessus de la limite de bilan pour les bâtiments («refroidissement») [kWh].

<sup>12</sup> L'énergie de pompage pour la chaleur ambiante, par exemple pompes souterraines, énergie des ventilateurs pour les aéroréférateurs, etc. doit également être prise en compte dans le bilan. L'énergie auxiliaire et l'énergie de transport sont considérées séparément.

## 7.5. Bilan du consommateur (limite du bilan bâtiment)

Pour la limite du bilan entre le réseau thermique en tant que fournisseur de services et le consommateur, les différentes interfaces sont présentées dans la Figure 21 ci-dessus.

Ainsi, d'une part, la pondération de l'énergie prélevée dans le réseau reste dans le bilan du consommateur (voir ci-dessous). Si une nouvelle transformation (processus) est effectuée dans le bâtiment après la «limite de bilan du réseau», elle doit être prise en compte dans le bilan global du bâtiment (consommateur). Le bilan suivant peut être établi pour le bâtiment (consommateur)<sup>13</sup>:

- **L'énergie de chauffage** est pondérée avec le  $DC_C$  (degré de charge du service chauffage) ainsi que le  $DCR_T$  (degré de charge des coûts de transport) selon les classifications de l'[OFEN, 2016].
- **L'énergie de refroidissement** est pondérée avec le  $DC_R$  (degré de charge du service refroidissement) ainsi que le  $DCR_T$  (degré de charge des coûts de transport) selon les classifications de l'[OFEN, 2016].

$$E_B = Q_{B,C} \cdot (DC_C + DCR_T) + Q_{B,R} \cdot (DC_R + DCR_T)$$

$E_B$  Énergie fournie pondérée [ $kWh_{pond}$ ]

$Q_{B,C}$  Quantité de chaleur fournie aux bâtiments au-delà de la limite du bilan («chauffage») [ $kWh$ ].

$DC_C$  Degré de charge du service chauffage [ $kWh_{pond}/kWh$ ]

$DCR_T$  Degré de charge pour les coûts de transport [ $kWh_{pond}/kWh$ ]

$Q_{B,R}$  Quantité de chaleur prélevée au-dessus de la limite du bilan par les bâtiments («refroidissement») [ $kWh$ ].

$DC_R$  Degré de charge du service refroidissement [ $kWh_{pond}/kWh$ ]

Cette analyse peut être encore affinée en différenciant l'exploitation directe et indirecte. Elle décrit l'approche habituelle avec les facteurs de pondération nationaux [OFEN, 2016], telle qu'elle est utilisée par Minergie et également adoptée dans [MoPEC, 2014].

$$E_{nat} = Q_{B,R,1} \cdot DC_R + Q_{B,R,2} \cdot DC_R \cdot \frac{g_R}{JAZ_R} + Q_{B,C,3} \cdot DC_C \cdot \frac{g_C}{JAZ_C} + Q_{B,C,4} \cdot DC_C + DCR_T \cdot (Q_{B,R,1} + Q_{B,R,2} + Q_{B,C,3} + Q_{B,C,4})$$

$E_{nat}$  Énergie finale pondérée par des facteurs de pondération nationaux [ $kWh_{pond}$ ]

$Q_{B,R,1}$  Quantité de chaleur prélevée au-dessus de la limite de bilan par les bâtiments («refroidissement») [ $kWh$ ], direct (flux d'énergie 1)

$Q_{B,R,2}$  Quantité de chaleur prélevée au-dessus de la limite de bilan par les bâtiments («refroidissement») [ $kWh$ ], indirect (flux d'énergie 2)

$Q_{B,C,3}$  Quantité de chaleur prélevée au-dessus de la limite de bilan par les bâtiments («Chauffage») [ $kWh$ ], utilisation indirecte (flux d'énergie 3)

$Q_{B,C,4}$  Quantité de chaleur prélevée au-dessus de la limite de bilan par les bâtiments («Chauffage») [ $kWh$ ], utilisation directe (flux d'énergie 4)

$DC_C$  Degré de charge du service chauffage [ $kWh_{pond}/kWh$ ]

$DC_R$  Degré de charge du service refroidissement [ $kWh_{pond}/kWh$ ]

<sup>13</sup> Les rejets thermiques exploitables à des fins de chauffage et le prélèvement de la chaleur exploitable à des fins de refroidissement sont indirectement pris en compte dans le bilan de l'énergie finale du fournisseur.

Horw, 13 mars 2018  
Page 35/38  
Rapport - Bases et explications sur les réseaux thermiques

$COP_i$  Coefficient de performance annuel du processus (C: pompe à chaleur; R: machine frigorifique) [ $kWh_{utile}/kWh_{finale}$ ]  
 $g_i$  Facteur de pondération du processus, généralement l'électricité [ $kWh_{pond}/kWh$ ]  
 $DCR_T$  Degré de charge pour les coûts de transport [ $kWh_{pond}/kWh$ ]

## 8. Conclusion

Le présent document de base tente de regrouper les différentes opinions et positions et de proposer une méthode de terminologie et de concepts. La topologie, le mode d'exploitation, l'impact des différents éléments d'un réseau thermique ainsi que les besoins des éléments d'un réseau thermique ont été pris en compte. En outre, les limites du système ont été définies et les réseaux thermiques ont été classifiés sur la base de leurs températures d'exploitation. Dans un encadré, les différents cas (réseau à haute température, réseau à basse température | chauffage, réseau à basse température | préchauffage et réseau à basse température | refroidissement) sont regroupés avec leurs chiffres clés et caractéristiques typiques.

Enfin, par analogie avec [Minergie, 2013], un bilan est présenté, qui est également important pour les considérations selon [MoPEC, 2014]. Cette approche repose sur le fait que le réseau thermique est considéré comme un prestataire de services, qui établit la relation entre le fournisseur et le consommateur. Ainsi, les deux limites de bilan (réseau et bâtiment) sont prises en compte.

Des analyses et des études de la littérature (Suisse et Europe) ont montré que la typification et la «dénomination» des réseaux thermiques sont judicieusement basées sur la température d'exploitation de la conduite avec la température la plus élevée, la conduite chaude (cf. Figure 22 ci-dessous).

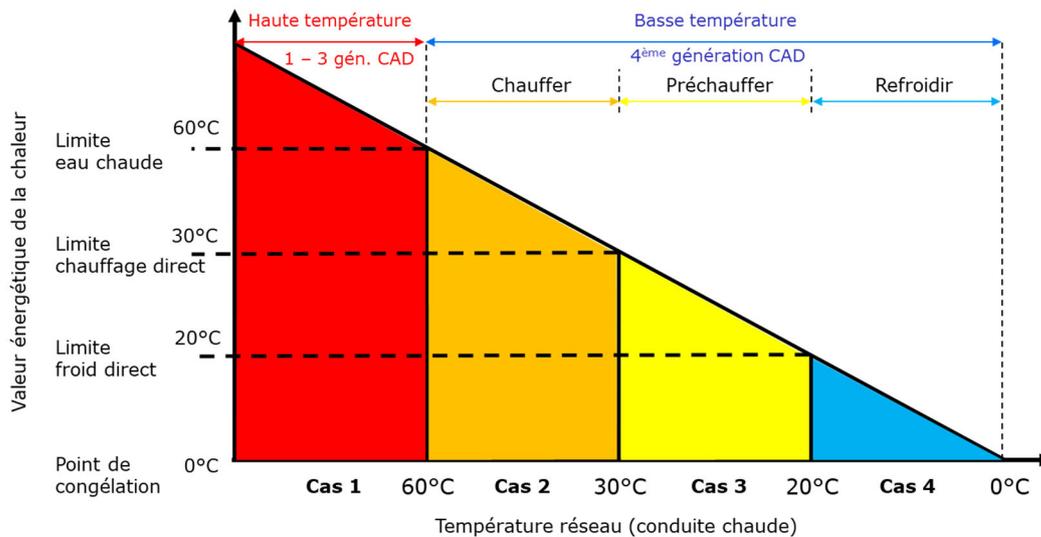


Figure 22: Aperçu des différentes dénominations de réseaux basées sur la température de la conduite chaude. Les indications de température doivent être interprétées avec un écart de  $\pm 5$  K.

Pour les quatre cas, des schémas types avec les technologies supplémentaires nécessaires à l'approvisionnement énergétique du bâtiment (consommateur) ainsi que les paramètres caractéristiques décrits (cf. chapitre 6 ci-dessus) sont fournis.

## 9. Bibliographie

- [MoPEC, 2014] La Conférence des directeurs cantonaux de l'énergie (EnDK): *Modèle de prescriptions énergétiques des cantons (MoPEC)*, adopté le 9 janvier 2015
- [MoPEC, 2008] La Conférence des directeurs cantonaux de l'énergie (EnDK): *Modèle de prescriptions énergétiques des cantons (MoPEC)*, adopté le 4 avril 2008
- [OFEN, 2016] Vonlanthen B, Büchel D: *Facteurs de pondération nationaux pour l'évaluation des bâtiments*, Hrsg: EnDK et OFEN, Berne, 4 février 2016
- [OFEN, 2009] Engler S, Kaufmann M: *Certificat énergétique cantonal des bâtiments - – Facteurs de pondération nationaux*, Hrsg: EnDK et OFEN, Chur/Berne, 1<sup>er</sup> mai 2009
- [Minergie, 2013] Minergie Agentur Bau: *Aide à l'utilisation Minergie® et MINERGIE-P®*, Muttenz, 2013
- [Minergie, 2017] Minergie succursale: *Aide à l'utilisation bâtiments standard MINERGIE®/MINERGIE-P®/MINERGIE-A®* – Version 2017.5, Bâle, 8 janvier 2018
- [Sulzer, 2014] Sulzer M, Hangartner D: *Froid à distance - bases, thèses*, Haute École de Lucerne, Horw, 2014
- [Scheller, 2014] Scheller H et al: *Chauffage à distance*, dans: Bulletin des Office fédéral pour l'économie énergétique, Berne, 1980
- [Thalmann, 2017] Thalmann S et al., *Guide de planification chauffage à distance*, Office fédéral de l'énergie, Berne 2017, [www.qmfernwaerme.ch](http://www.qmfernwaerme.ch)
- [OFEN, 2014] Office fédéral de l'énergie: *Statistique globale suisse de l'énergie 2013*, Berne, 2014
- [ASCAD, 2017] Association Suisse du Chauffage à Distance (ASCAD), online <https://www.fernwaerme-schweiz.ch/fernwaerme-franz/allgemeine-Fragen/Was-ist-Fernwaerme.php>, consulté le 19 janvier 2017 (vérifié le 01.03.2018)
- [AGFW, 2017] AGFW | Der Energieeffizienzverband für Wärme, Kälte und KWK e.V., online [www.agfw.de/recht/avbfernwaermev/waermecontracting-im-miet-wohnungssektor/2-rechtliche-einordnung-des-waermelieferungsvertrages](http://www.agfw.de/recht/avbfernwaermev/waermecontracting-im-miet-wohnungssektor/2-rechtliche-einordnung-des-waermelieferungsvertrages), besucht am 19. Januar 2017 (geprüft 01.03.2018)
- [EN-101, 2017] Conférence des services cantonaux de l'énergie (EnDK): *Aide EN-101*, juin 2017
- [BGH, 1990] Bundesgerichtshof BGH VIII ZR 229/88: *Begriff der Fernwärme*, Urteil vom 25.10.1989, NJW Heft 18/1990, Seite 1181
- [Isoplus, 2017] Isoplus, online [www.isoplus.at/tags/nah-fernwaerme/unterscheidung-nah-fernwaerme](http://www.isoplus.at/tags/nah-fernwaerme/unterscheidung-nah-fernwaerme), besucht am 19. Januar 2017 (geprüft 01.03.2018)
- [OFS, 2017] OFS, 2017: EGID, online <https://www.bfs.admin.ch/bfs/fr/home/registres/registre-personnes/harmonisation-registres/contentu-minimal-registres-habitants/egid-ewid.html>, consulté le 20 janvier 2017 (vérifié 01.03.2018)
- [Glück, 1985] Glück B: *Heizwassernetze für Wohn- und Industriegebiete*, Berlin, 1984 (online <http://berndglueck.de/heizwassernetze.php>, besucht am 01.03.2018)
- [Frederiksen, 2013] Frederiksen S, Werner S: *District Heating and Cooling*, Studentlitteratur, Lund, 2013

- [Dötsch, 1998] Dötsch C. et al, *Leitfaden Nahwärme*, Fraunhofer Umsicht, Oberhausen, 1998
- [SIA 380, 2015] Société suisse des ingénieurs et des architectes (SIA): *Bases pour les calculs énergétiques des bâtiments*, Zurich, 2015
- [Ködel, 2017] Ködel J.: *Skript nachhaltige Industrie- und Fernheizung*, Horw, 2017
- [OFSP, 2009] Office fédéral de la santé publique (OFSP): *Légionelles et légionellose*, Berne, mars 2009
- [SSIGE, 2001] Société suisse de l'industrie du gaz et des eaux (SSIGE): *Fiche technique «Legionella et eau potable – à quoi faut-il faire attention?»* Zurich, juillet 2001
- [prSIA 385/1, 2016] Société suisse des Ingénieurs et des Architectes (SIA): *Projet mis en consultation sur la révision de la norme «SIA 385/1: Installation d'eau chaude dans les bâtiments - Bases générales et exigences»*, Zurich, juin 2016
- [SIA 382/1, 2014] Société suisse des Ingénieurs et des Architectes (SIA): *Installations de ventilation et de climatisation - Bases générales et exigences*, Zurich, 2014
- [SIA 382/1, 2007] Société suisse des Ingénieurs et des Architectes (SIA): *Installations de ventilation et de climatisation - Bases générales et exigences*, Zurich, 2007
- [SIA V382/1, 1992] Société suisse des Ingénieurs et des Architectes (SIA): *Performances techniques requises pour les installations de ventilation et de climatisation (recommandations)*, Zurich, 1992
- [SIA V382/2, 1992] Société suisse des Ingénieurs et des Architectes (SIA): *Bâtiments climatisés – Puissance requise et besoins d'énergie (recommandations)*, Zurich, 1992
- [SSICC 2003-3, 2005] Société suisse des ingénieurs en chauffage et climatisation (SSICC): *Directive «Refroidissement»*, Schönbühl, 2005
- [EC, 2011] European Commission, Directorate General for Energy: *Energy 2020 – A strategy for competitive, sustainable and secure energy*, Luxembourg: Publications Office of the European Union, 2011
- [4DH, 2017] 4th Generation District Heating, online [www.4dh.dk/about-4dh](http://www.4dh.dk/about-4dh) consulté le 20 janvier 2017 (vérifié le 01.03.2018)
- [Lund, 2014] Lund H et al: *4th Generation District Heating (4GDH) – Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems*, in: Energy 68 (2014), 1–11
- [A+W, 2015] Amstein+Walthert: *Réseaux d'anergie - exploitation*, dans: zB, No 66, Zurich, septembre 2016
- [KBOB, 2016] Données des écobilans dans la construction - recommandations (2009/2016, KBOB, 2016  
(online par ex.: <https://www.eco-bau.ch/index.cfm?Nav=17&ID=46> oder [https://www.kbob.admin.ch/kbob/fr/home/publikationen/nachhaltiges-bauen/oekobilanzdaten\\_baubereich.html](https://www.kbob.admin.ch/kbob/fr/home/publikationen/nachhaltiges-bauen/oekobilanzdaten_baubereich.html), consulté le 1<sup>er</sup> mars 2018)