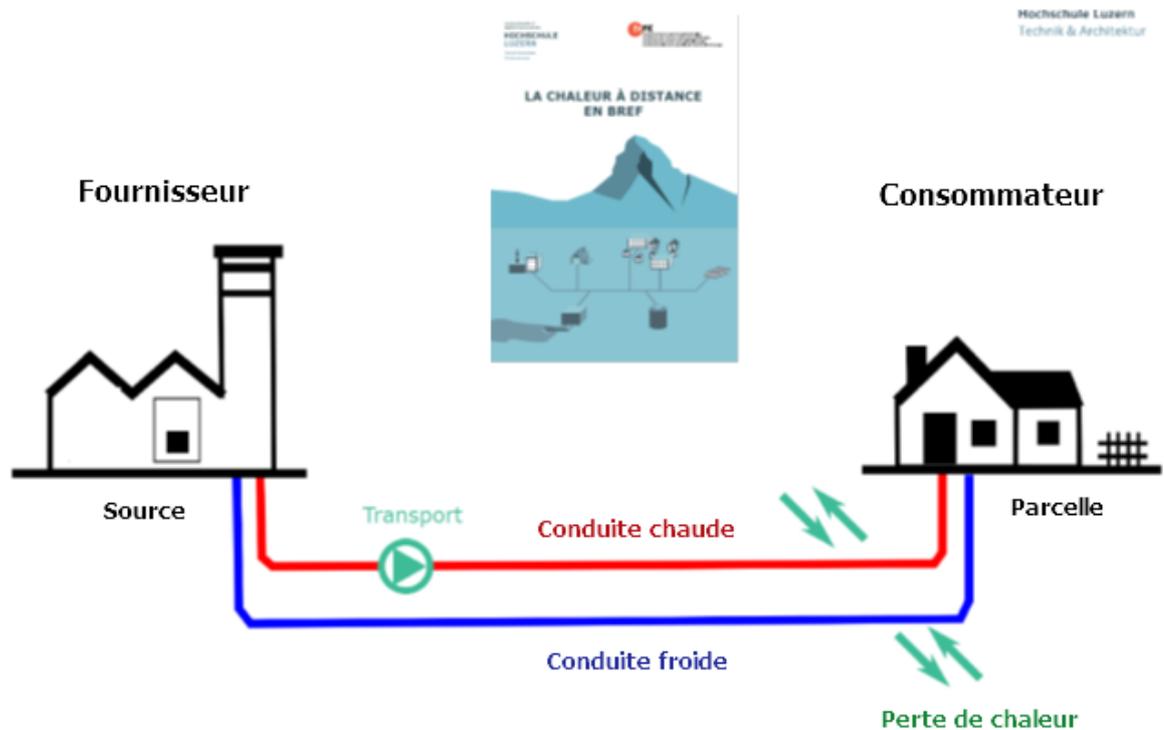


Étude sur les facteurs de pondération nationaux pour les réseaux thermiques

Rapport final



Impressum

Mandant	Groupe de travail MoPEC de l'EnFK	
	3000 Berne	
Mandataire	Haute École de Lucerne Technik & Architektur Institut Gebäudetechnik Energie Technikumstrasse 21 6048 Horw	
Auteurs	Thomas Schluck	Haute École de Lucerne
	Stefan Mennel	Haute École de Lucerne
Liste de distribution	Groupe de travail MoPEC	Cantons
	Olivier Brenner	EnDK
N° SAP	1122268-00	
Nom de fichier	D_20210323_Schlussbericht_NaGeFa_fr.docx	

Chronologie des modifications

<i>Version</i>	<i>Date</i>	<i>Statut</i>	<i>Remarques</i>	<i>Auteur de la modification</i>
00	02.11.2020	Projet	Première ébauche	Mes
01	24.11.2020	Ébauche	Consultation CG	Mes
02	16.02.2021	Préimpression	Retours externes	Mes
03	26.02.2021	Version finale	Contributions du groupe de travail MoPEC	Sae/Sts/Mes
04	23.03.2021	Version définitive	Décision du groupe de travail MoPEC	Brenner/Mes

Résumé

La Haute École de Lucerne (HSLU) a été mandatée par la Conférence des services cantonaux de l'énergie (EnFK) afin d'étudier les facteurs de pondération nationaux pour les réseaux thermiques. Pour ce faire, des réseaux travaillant dans trois plages de température ont été définis, de même que leurs configurations d'alimentation caractéristiques ; ils ont ensuite été analysés dans le cadre d'études paramétriques. L'expression « configuration d'alimentation » englobe toutes les sources d'énergie et toutes les technologies de transformation nécessaires pour couvrir les besoins énergétiques d'un réseau thermique, ainsi que leurs caractéristiques.

Les facteurs de pondération nationaux appropriés sont évalués ici en appliquant une méthode déjà publiée par la Haute École de Lucerne. L'étude propose également des solutions pour simplifier cette méthode et pour l'utiliser dans l'évaluation de réseaux thermiques.

Le présent rapport apporte, en outre, une réponse quant au doublement des limites de système. Il existe, d'une part, une limite du système « réseau thermique » (ou « chauffage à distance ») et, d'autre part, une limite du système « bâtiment » raccordé au réseau.

Des études paramétriques ont été menées sur un total de 22 configurations d'alimentation. Le chapitre 5 énumère des recommandations concernant les limites de système, la méthodologie et la gestion des réseaux thermiques dont la température d'exploitation est inférieure à 60°C. L'une des conclusions centrales ici est qu'il est possible de négliger les deux facteurs transport et déperditions de chaleur tout en garantissant un calcul rapide et suffisamment exact respectant le niveau de précision voulu.

Le chapitre 6 s'appuie sur l'analyse des données des études paramétriques pour énoncer des recommandations concrètes concernant les facteurs de pondération nationaux pour des configurations d'alimentation courantes relativement simples. Le présent document propose enfin une solution pour effectuer les calculs pour les configurations d'alimentation multivalentes plus complexes, à l'aide du formulaire EN-101b. Dans l'ensemble, l'étude a su montrer que les facteurs de pondération actuellement en vigueur sont plausibles pour le chauffage à distance (> 60°C). Un facteur de pondération national de 0,4 devrait être applicable pour de nombreuses configurations d'alimentation dans les réseaux à basse température (40°C ou 10°C).

Le chapitre 7 illustre la méthode de calcul à l'aide de trois exemples. Le chapitre 8 apporte ensuite une conclusion, tandis que l'annexe (chapitre 9) fournit une aide sous forme de tableaux pour les configurations d'alimentation bivalentes de type pompe à chaleur et gaz naturel respectivement pompe à chaleur et bois.

Sommaire

1.	Introduction	5
2.	Situation initiale.....	5
3.	Objectif	5
4.	Les deux limites de système des réseaux thermiques	6
5.	Les charges dans les réseaux thermiques.....	7
5.1.	Transport et déperditions de chaleur	7
5.2.	Facteurs de pondération des technologies de transformation	8
5.3.	Les réseaux thermiques bidirectionnels.....	8
6.	Analyse de réseaux thermiques – exemples et résultats	8
6.1.	Réseaux à haute température	8
6.2.	Pompe à chaleur seule	9
6.3.	Exploitation bivalente pompe à chaleur / chauffage à combustion	9
6.4.	Exploitation bivalente chaleur de l’environnement / pompe à chaleur	9
6.5.	Exploitation bivalente chaleur de l’environnement / chauffage à combustion.....	10
6.6.	Exploitation bidirectionnelle	10
6.7.	Mode d’exploitation multivalent et complexe.....	10
6.8.	Exemple de calcul pour les réseaux thermiques	10
7.	Exemples concrets d’application dans un bâtiment.....	14
7.1.	Exemple 1 : réseau à température moyenne	14
7.2.	Exemple 2 : réseau à basse température	16
7.3.	Exemple 3 : réseau à basse température / solaire thermique	17
8.	Conclusion et recommandations.....	19
9.	Annexe.....	20

Publications de référence

[FaPoNa] Facteurs de pondération nationaux pour l’évaluation des bâtiments, en ligne :

https://endk.ch/fr/ablage_fr/politique-energetique/20160204-facteursdepondrationnationauxpouurlvaluati.pdf/at_download/file

[CàD en bref] La chaleur à distance en bref, en ligne : https://endk.ch/fr/ablage_fr/conseil-energie/Merkblatt%20Fernwaerme%20in%20Kuerze%2020190606_f.pdf/download

[Bases CàD] Bases et explications sur les réseaux thermiques, en ligne :

<https://pubdb.bfe.admin.ch/fr/publication/download/9311>

[Rglmt ME] Règlement des labels MINERGIE®/MINERGIE-P®/MINERGIE-A® (version 2021.1), en ligne : https://www.minergie.ch/media/201223_produktreglement_minergie_p_a_v2021.1_fr.pdf

1. Introduction

La Conférence des services cantonaux de l'énergie (EnFK) a mandaté la Haute École de Lucerne pour réaliser une étude concernant les facteurs de pondération nationaux pour les réseaux thermiques. Des études paramétriques ont ainsi été faites afin d'analyser des exemples de configurations d'alimentation. L'expression « configuration d'alimentation » englobe toutes les sources d'énergie et toutes les technologies de transformation nécessaires pour couvrir les besoins énergétiques d'un réseau thermique. Le présent rapport résume les principales conclusions de l'étude. Ces dernières ont pour but d'aider (i) les autorités d'exécution, (ii) les planificateurs et (iii) les exploitants de réseaux thermiques pour définir comment évaluer les configurations d'alimentation concrètes dans le contexte des facteurs de pondération nationaux et pour sélectionner le facteur à utiliser pour la chaleur à distance.

2. Situation initiale

Les facteurs de pondération nationaux pour l'évaluation de l'énergie [FaPoNa] reflètent la politique énergétique dans le secteur du bâtiment. L'évaluation de la chaleur fournie par les réseaux thermiques se fait aujourd'hui uniquement sur la base de la part de la chaleur provenant des énergies fossiles. Il manque un système pour calculer le bilan des flux d'énergie des réseaux thermiques, notamment en fonction des configurations d'alimentation utilisées et des températures d'exploitation [CàD en bref]. La question qui se pose est comment réussir une pondération uniforme dans le cas d'un système de chauffage à distance faisant appel à des configurations de type pompe à chaleur, chaleur de l'environnement, chauffage au bois, etc.

Le rapport de l'OFEN « Réseaux thermiques » propose une première approche pour calculer le bilan de l'énergie finale des réseaux thermiques [Bases CàD]. Le degré de charge ainsi obtenu évalue les différents services du réseau thermique. La méthode de calcul inclut tous les flux d'énergie et elle s'avère utile pour l'évaluation d'un réseau donné. Cependant, elle ne convient pas pour une évaluation rapide générale.

3. Objectif

L'étude explore les questions ci-dessous qui sont, par ailleurs, résumées et complétées chacune par une recommandation.

- Comment calculer le bilan global lorsque différents agents énergétiques alimentent un réseau thermique ?
- Quelles limites de système faut-il considérer et quelles énergies auxiliaires faut-il prendre en compte ?
- Comment décrire un système par une définition simple, valable indépendamment des années et toutefois suffisamment précise ?
- Quel facteur de pondération national utiliser pour une configuration d'alimentation spécifique d'un réseau thermique ?

4. Les deux limites de système des réseaux thermiques

Les réseaux thermiques ont la particularité d'impliquer deux limites de système distinctes :

- la limite du système « réseau thermique » : qu'est-ce qui est apporté au réseau pour assurer la fourniture d'énergie ?
- la limite du système « bâtiment » : quelle est la « charge » de la fourniture d'énergie consommée ?

En partant de l'énergie utile dans les locaux, on peut définir deux systèmes de consommation différents pour l'énergie finale (cf. Illustration 1). Pour le bâtiment, l'énergie finale (bâtiment) correspond à l'énergie fournie par le réseau thermique. Pour le réseau thermique, c'est l'énergie fournie au réseau qui est l'énergie finale (réseau), elle-même étant ensuite distribuée aux bâtiments avec déperditions.

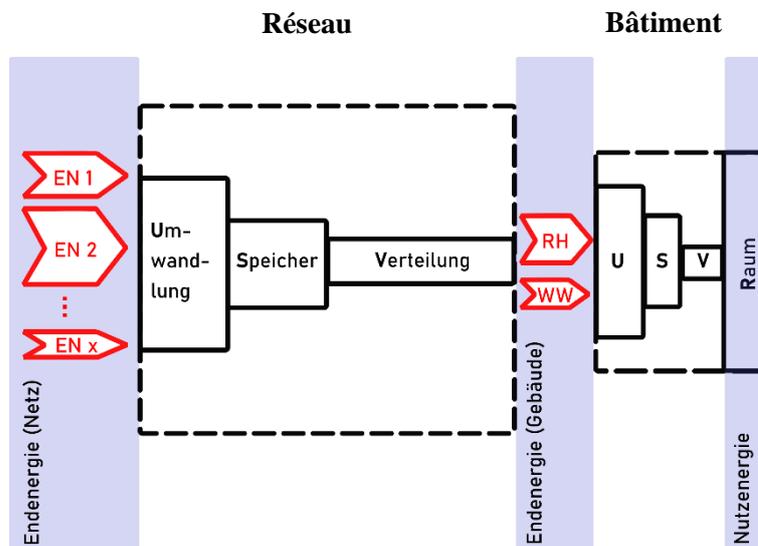


Illustration 1 Deux limites de système dans les réseaux thermiques avec deux systèmes de consommation d'énergie finale

Endenergie : énergie finale

Netz : réseau

Gebäude : bâtiment

Nutzenergie: énergie utile

Umwandlung (U): transformation

Speicher (S): accumulation

Verteilung (V): distribution

RH: chauffage des locaux

WW: eau chaude

5. Les charges dans les réseaux thermiques

Chaque réseau thermique subit des « charges » liées aux dépenses d'énergie dues au transport, aux déperditions de chaleur et aux technologies de transformation utilisées (source chez le fournisseur), cf. Illustration 2. L'étude a examiné les dépenses d'énergie dues au transport, aux déperditions et aux technologies de transformation typiques, ainsi que l'efficacité de ces dernières dans différentes configurations d'alimentation.

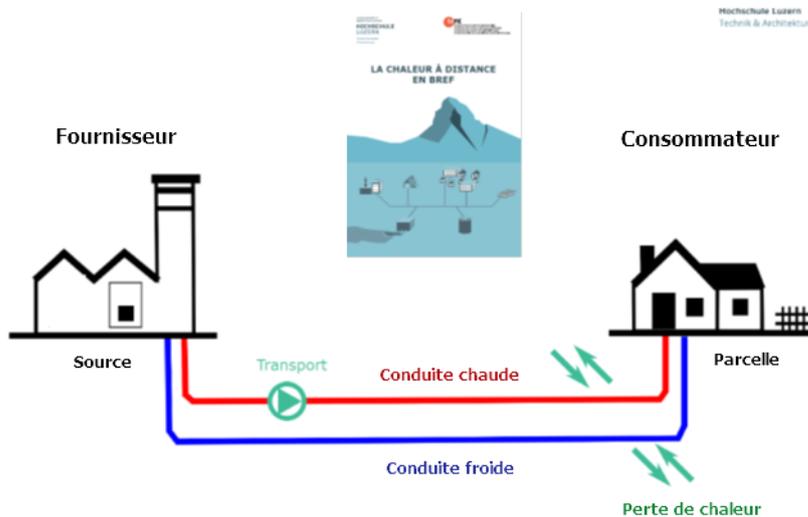


Illustration 2 Représentation schématique d'un réseau thermique et de ses éléments principaux [Bases C&D]

5.1. Transport et déperditions de chaleur

Des travaux précédents ont montré que les dépenses pour le transport et les déperditions de chaleur dépendent de manière déterminante de la température du réseau thermique [Bases C&D]. C'est pourquoi il a été proposé de classer les réseaux thermiques en fonction de leur température d'exploitation (cf. Illustration 3). Plus la température du réseau thermique est basse, plus les dépenses pour le transport sont élevées (différences de température plus faibles au sein du réseau, débit volumique plus important). Dans un réseau fonctionnant en dessous de 20°C, les dépenses pour le transport représentent environ 2 à 3% de l'énergie fournie aux bâtiments. À l'inverse, plus la température du réseau thermique est élevée, plus les déperditions de chaleur sont importantes (différences de température plus élevées par rapport au sous-sol). Dans un réseau fonctionnant au-dessus de 60°C, les déperditions représentent 7 à 13% de l'énergie fournie aux bâtiments.

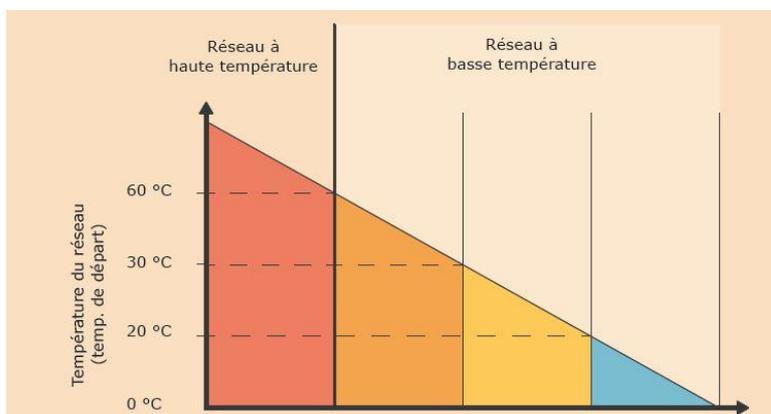


Illustration 3 Répartition des réseaux thermiques en fonction de leur température d'exploitation [C&D en bref].

Recommandation : l'analyse des configurations d'alimentation a montré que ni le transport ni les déperditions de chaleur n'ont une influence majeure sur la pondération. Ces deux facteurs peuvent ainsi être négligés pour assurer un calcul rapide et suffisamment exact respectant le niveau précision voulu.

5.2. Facteurs de pondération des technologies de transformation

Le règlement des labels Minergie [Rglmt ME] décrit la pondération à appliquer aux technologies de transformation pour la mise à disposition de l'énergie dans les bâtiments. Les agents énergétiques fournis peuvent être pondérés de manière similaire dans les réseaux thermiques. Outre le facteur de pondération de l'agent énergétique lui-même, les rendements (par rapport au pouvoir calorifique inférieur) sont déterminants pour les technologies de combustion. Pour les pompes à chaleur, on utilise le coefficient de performance annuel. Dans le cas des installations de couplage chaleur-force (CCF), il est, par ailleurs, possible de soustraire l'énergie électrique produite.

Recommandation : l'évaluation des facteurs de pondération pour la fourniture de chaleur d'un réseau thermique à un bâtiment requiert de pondérer tous les agents énergétiques apportés au réseau comme le décrit l'aide à l'utilisation des labels Minergie.

Par conséquent, la limite du système « énergie finale réseau » constitue la base d'évaluation du réseau thermique. Cela correspond aussi à « l'énergie finale bâtiment » fournie aux consommateurs (cf. Illustration 1 ci-dessus sur les limites de système) si l'on néglige les dépenses pour le transport et les déperditions de chaleur.

5.3. Les réseaux thermiques bidirectionnels

Dans le cas des réseaux thermiques bidirectionnels, les bâtiments peuvent soit consommer de l'énergie fournie par le réseau (chauffage) soit injecter de l'énergie dans ce même réseau (refroidissement). L'objectif ici est de mettre en place une économie circulaire de l'énergie (« recyclage de l'énergie »).

Recommandation : l'injection de chaleur qui ne peut être utilisée autrement devra être traitée comme des rejets de chaleur. Il n'y a aucune rétribution pour la limite de système « énergie finale » (bâtiment) ; les flux de chaleur sont traités comme l'énergie solaire, la chaleur de l'environnement ou la géothermie.

6. Analyse de réseaux thermiques – exemples et résultats

L'étude s'est intéressée à différentes plages de température (haute température > 60°C, température moyenne 40°C, basse température < 20°C), des configurations d'alimentation caractéristiques en ayant été déduites pour chacune d'elles. L'étude s'appuie sur un total de 20 configurations d'alimentation différentes plus deux exemples concrets provenant du canton de Berne. Le présent chapitre réunit donc, sous forme de recommandations, les résultats généraux qu'il a été possible de déduire de l'étude de ces 22 configurations d'alimentation.

6.1. Réseaux à haute température

L'analyse des réseaux à haute température (température d'exploitation > 60°C) a montré que les facteurs de pondération actuellement en vigueur sont plausibles. La biomasse (au moins 75% , avec ou sans couverture de la charge de pointe avec une énergie fossile) bénéficie, ici, d'un petit bonus (valeurs calculées : environ 0,67-0,78). En fonction de leur rendement électrique, les installations de couplage chaleur-force (CCF) sont un peu moins performantes. Il semble ainsi judicieux d'appliquer les facteurs de pondération publiés (cf. Illustration 4).

Chaleur à distance (y c. Rejets de chaleur de UIOM, STEP, industrie) part de chaleur fossile	≤ 25%	0,4
	≤ 50%	0,6
	≤ 75%	0,8
	> 75%	1,0

Illustration 4 Facteurs de pondération nationaux pour les réseaux à haute température selon [FaPoNa]

Recommandation : l'étude a permis de confirmer l'actuelle classification des facteurs de pondération pour les réseaux thermiques fonctionnant à plus de 60°C (avec de légers écarts). Dans l'optique de conserver une certaine stabilité dans les définitions, une modification ne s'impose pas.

6.2. Pompe à chaleur seule

Lorsque la fourniture de chaleur est assurée par un système monovalent à pompe à chaleur, la charge du réseau qui en résulte dépend très fortement du coefficient de performance annuel atteint. De manière générale, une température d'exploitation plus basse au niveau du réseau thermique et une température plus élevée au niveau de la source favorisent des meilleurs coefficients de performance annuels.

Recommandation : avec un coefficient de performance annuel > 4,0, il est possible de recommander un facteur de pondération de 0,4. On utilisera un facteur de pondération de 0,6 pour les systèmes dont le coefficient de performance annuel est plus faible.

6.3. Exploitation bivalente pompe à chaleur / chauffage à combustion

Le coefficient de performance annuel est également décisif pour les systèmes bivalents associant pompe à chaleur et chauffage à combustion, le combustible utilisé influençant aussi le résultat. La combinaison d'une pompe à chaleur affichant un coefficient de performance annuel élevé (6,0) et un taux de couverture de la charge de pointe de 24% (gaz naturel) aboutit à un facteur de pondération déjà supérieur à 0,5 (cf. à ce sujet le chapitre 9, annexe).

Recommandation : en cas de doute, on appliquera un facteur de pondération de 0,6 pour les combinaisons pompe à chaleur et système à combustion pour la couverture des charges de pointe. Viser un facteur de pondération de 0,4 représente une bonne incitation à choisir la biomasse pour la couverture des charges de pointe.

6.4. Exploitation bivalente chaleur de l'environnement / pompe à chaleur

Si la chaleur de l'environnement (eaux souterraines ou eaux superficielles par exemple) est utilisée en tant que source primaire et qu'elle est partiellement améliorée en l'associant à une pompe à chaleur (légère augmentation de la température), cette faible hausse de la température permet d'obtenir des coefficients de performance annuels élevés parallèlement à de faibles degrés de charge.

Recommandation : on peut, sans hésitation, attribuer un facteur de 0,4 à la chaleur de l'environnement ou aux rejets thermiques, en association à une pompe à chaleur affichant un coefficient de performance annuel > 4,0.

6.5. Exploitation bivalente chaleur de l'environnement / chauffage à combustion

Si l'on associe le même système que ci-dessus (chaleur de l'environnement ou rejets thermiques en tant qu'agent primaire) à une installation à combustion pour couvrir la charge de pointe (gaz naturel ou bois), on obtient alors des facteurs de pondération d'environ 0,3.

Recommandation : on peut, sans hésitation, attribuer un facteur de pondération de 0,4 à la combinaison chaleur de l'environnement (ou rejets thermiques) et couverture de la charge de pointe avec un système à combustion.

6.6. Exploitation bidirectionnelle

La situation des réseaux thermiques à exploitation bidirectionnelle, qui permettent de consommer la chaleur qu'ils fournissent (besoins de chauffage) ou d'y injecter de la chaleur (besoins de refroidissement), est assez complexe à évaluer. Les résultats de l'étude dépendent fortement de la quantité d'énergie réutilisable soit en temps réel soit de manière différée grâce à un système d'accumulation. En théorie, ces réseaux peuvent, par ailleurs, être alimentés à la fois par des pompes à chaleur et des systèmes à combustion afin de compenser le déficit thermique qui leur est caractéristique. L'étude montre que, même en situation extrême, les systèmes où le déficit est couvert par des pompes à chaleur ne dépassent pas un facteur de pondération de 0,4. Ceux où la couverture est assurée par des systèmes à combustion atteignent 0,4 dans le meilleur des cas.

Recommandation : quelle que soit la situation, il semble toujours justifié d'appliquer un facteur de pondération de 0,4 pour les systèmes bidirectionnels qui couvrent les déficits thermiques avec des pompes à chaleur. Pour ceux faisant appel à des installations à combustion, un facteur de 0,6 pourrait s'avérer plus judicieux à long terme.

6.7. Mode d'exploitation multivalent et complexe

L'étude a également examiné des configurations d'alimentation multivalentes plus complexes impliquant plus de trois technologies de transformation. Étant donné les nombreux paramètres impliqués, il est difficile de formuler des recommandations à valeur générale. Deux systèmes concrets dans le canton de Berne ont été analysés en détail. L'étude a montré ici que les formulaires disponibles pour les justificatifs énergétiques permettent aussi de représenter les configurations d'alimentation multivalentes plus complexes. Le chapitre suivant propose, en exemple, de saisir les données de la fourniture de chaleur d'un réseau thermique connu dans le formulaire EN-101b.

6.8. Exemple de calcul pour les réseaux thermiques

Il est possible d'utiliser le formulaire du justificatif EN-101b pour les réseaux thermiques multivalents plus complexes, comme on le fait pour le justificatif énergétique des bâtiments. L'exemple ci-dessous présente les données à entrer et la méthode à utiliser.

Situation initiale : nous souhaitons évaluer un réseau impliquant une fourniture d'énergie multivalente avec 60% par chaleur à distance, 12% par pompe à chaleur, 15% par CCF et 13% par gaz naturel pour couvrir la charge de pointe. Les quantités d'énergie nécessaires sont énumérées dans l'illustration 5 ci-dessous. Aucune information supplémentaire n'est disponible concernant les énergies finales fournies pour la production. Les quantités d'énergie absolues sont uniquement utilisées pour calculer les paramètres nécessaires ; elles ne figurent pas dans le formulaire du justificatif EN-101b.

Production /Entrées	Production d'énergie		Consommation électrique	
		Thermique	Electrique CCF	Pompe à chaleur
Chaleur à distance	60 %	6'720'000 kWh		
Pompe à chaleur eau-eau	12 %	1'344'000 kWh		395'000 kWh
CCF gaz naturel	15 %	1'797'000 kWh	1'149'000 kWh	
Chaudière de pointe gaz naturel	13 %	1'456'000 kWh		
Totaux	100 %	11'317'000 kWh	1'149'000 kWh	395'000 kWh

Illustration 5 Quantités d'énergie thermique et électrique fournies et consommation d'électricité de la pompe à chaleur

Méthode – feuille « Entrées » : la plupart des paramètres de cette feuille ne jouent aucun rôle pour le calcul des réseaux thermiques. L'illustration 6 ci-dessous montre une approche pragmatique impliquant une catégorie de bâtiment quelconque sans eau chaude et une surface de référence énergétique d'un mètre carré. Nous recommandons, par conséquent, de ne saisir aucune donnée pour la ventilation et de rentrer une valeur de 100 kWh/m² pour les besoins pour le chauffage effectif (Illustration 7).

E13	Données sur le bâtiment		Altitude:	500	m	Canton:	Fribourg	
E14	(Selon la norme SIA 380/1)		Justificatif pour:	Preuve officielle		Station climat:	Bern Liebefeld	
	Zone			1	2	3	4	Somme
E16	Catégorie d'ouvrage			Ecole				(moyenne)
E17	Avec eau chaude?			non				
E19	Surface de référence énergétique SRE	A _E	m ²	1				1
E21	Nouvelle construction			oui				

Illustration 6 Feuille « Entrées », données sur le bâtiment (formulaire EN-101b)

E44	Qh avec débit d'air thermiquement actif						
E45	Débit d'air neuf thermiquement actif	V/A _E	m ³ /hm ²	0,70			0,70
E46	Besoins pour le chauffage effectif avec l'installation de ventilation	Q _{n,eff}	kWh/m ²	100,0			100,0

Illustration 7 Feuille « Entrées », installation de ventilation et besoins pour le chauffage (formulaire EN-101b)

Méthode – feuille « Justificatif » : il est possible de saisir, ici, les données concernant chacune des technologies de transformation auxquelles fait appel le réseau thermique considéré. Les valeurs standard pourront être une aide en l'absence d'informations plus précises sur le rendement.

Dans notre exemple, la source de chaleur à distance fait appel aux rejets thermiques d'une usine d'incinération des ordures ménagères (UIOM) et à moins de 25% d'énergie fossile pour couvrir la charge de pointe ; sa contribution au réseau thermique est de 60% et c'est la valeur standard qui est utilisée pour le rendement (cf. Illustration 8).

Production de chaleur:		Rendement / COPa		Taux de couverture [%]	
N7	Production de chaleur A	Entrée	valeur calculé	Chauffage	Eau chaude
N8	Chaleur à distance (min. 75% énergies ren., rejets, CCF)	1,00	1,00	60,0	
N9	L'électricité pour les PAC doit être pondérée double				
N10					

Illustration 8 Feuille « Justificatif », production de chaleur A : chaleur à distance (formulaire EN-101b)

La pompe à chaleur utilise la nappe phréatique comme source. Selon les données de base de l'énergie thermique fournie et de l'électricité consommée, on peut calculer le coefficient de performance annuel (COPa) de $1344 \text{ MWh} \div 395 \text{ MWh} = 3,4$. La contribution au réseau thermique est de 12% et on remplace la valeur standard par le COPa calculé (cf. Illustration 9).

N11	Production de chaleur B				
N12	Pompe à chaleur eau-eau, que chauffage	3,40	3,40	12,0	
N13					

Illustration 9 Feuille « Justificatif », production de chaleur B : pompe à chaleur (formulaire EN-101b)

Pour le CCF à gaz naturel, le rendement électrique peut être calculé à partir des quantités d'énergie connues : $1149 \text{ MWh} \div (1149 + 1797) \text{ MWh} = 39\%$. Le formulaire rapporte cependant le rendement électrique à l'énergie finale fournie pour un rendement standard de 0,9. Pour en tenir compte correctement, il faut multiplier le rendement électrique par le rendement standard. Il en résulte un rendement électrique final de $0,39 \cdot 0,9 = 0,35$ et une part de chaleur de $0,9 - 0,35 = 0,55$ (cf. Illustration 10). La contribution au réseau thermique est de 15%.

N15	Production de chaleur C				
N16	CCF (fossile) - part thermique et électrique	0,90	0,55	15,0	
N17	Rendement électrique (joindre calcul)	0,35			
N18					

Illustration 10 Feuille « Justificatif », production de chaleur C : CCF à gaz naturel (formulaire EN-101b)

La chaudière d'appoint au gaz naturel assure une contribution de 13% ; un rendement standard lui est attribué en l'absence d'informations plus précises (cf. Illustration 11). La production de chaleur est ainsi entièrement couverte ; le taux de couverture est égal à 100%. L'exclusion de l'eau chaude facilite grandement tous les calculs ; il n'y a qu'une seule colonne à remplir.

N19	<i>Production de chaleur D</i>				
N20	Chaudière à gaz à condensation, que chauffage		0,90	0,90	13,0
N21					
N22					
N23	<i>Report autres productions de chaleur</i>				
N24					
N25	Electricité fournie (non pondérée)	kWh/m2			
N27	Energie fournie (sans électricité, pondérée)	kWh/m2	Taux de couverture total		100,0

Illustration 11 Feuille « Justificatif », production de chaleur D : chaudière d'appoint au gaz naturel (formulaire EN-101b)

Résultat : la ligne « Respect des exigences » indique que les exigences ne sont pas respectées. Puisque l'on effectue les calculs ici pour un réseau thermique et non pour un bâtiment, aucune exigence n'a toutefois été fixée. Seul le résultat dans la cellule I58 « Valeur calculée » est intéressant (cf. Illustration 12, case entourée en vert). Pour des besoins en énergie utile de 100 kWh/m², les calculs aboutissent ainsi à une énergie finale de 53,7 kWh/m² après application des facteurs de pondération nationaux.

Respect des exigences:		Exigences	Valeur calculée	Respectée?
N58	Valeur limite	28,1 kWh/m2	53,7 kWh/m2	non

Illustration 12 Feuille « Justificatif », résultat du calcul (formulaire EN-101b)

Conclusion : en saisissant des besoins en chaleur de chauffage de 100 kWh/m² et en excluant l'eau chaude des calculs, cette méthode permet d'obtenir le facteur de pondération national pour le réseau thermique en pour cent, ou ici directement sous forme de facteur soit:
 $53,7 \text{ kWh/m}^2 \div 100 \text{ kWh/m}^2 = 0,53$. Il conviendra ici donc d'utiliser le facteur de pondération 0,6 (part fossile : max. 50%, cf. Illustration 4).

Perspective : cette méthode a été appliquée pour différents réseaux thermiques et différentes configurations d'alimentation multivalentes. Il faut parfois procéder à des simplifications nécessaires, car le formulaire est limité à un maximum de cinq productions de chaleur. Pendant l'étude, il s'est toutefois toujours avéré possible de trouver un moyen de représenter le réseau thermique de manière suffisamment précise et rapide.

Recommandation : pour les réseaux thermiques avec configuration d'alimentation multivalente complexe, le calcul doit se faire en amont (par le fournisseur d'énergie) en utilisant le formulaire EN-101b. Les valeurs de dimensionnement ou des valeurs mesurées pluriannuelles peuvent être utilisées. Le facteur de pondération du réseau thermique qui sera effectivement utilisé plus tard pour les bâtiments ne doit pas être soumis à des fluctuations annuelles, mais présenter une stabilité à long terme (sans l'influence, par exemple, d'une extension/démolition, de l'ajout de nouveaux clients / la perte de clients clés). Nous recommandons d'arrondir le résultat de manière judicieuse (consulter le cas échéant les organismes compétents).

7. Exemples concrets d'application dans un bâtiment

Si le chauffage à distance est utilisé directement dans un bâtiment (températures d'exploitation supérieures à 60°C), le document de référence [Rglmt ME] prévoit que l'énergie utile peut être calculée en appliquant d'emblée le facteur de pondération du chauffage à distance (en négligeant les déperditions dues à la distribution et les dépenses pour le transport). Par analogie, il est également possible d'effectuer les calculs pour les bâtiments qui sont raccordés à un réseau thermique dont la température d'exploitation est plus basse et qui utilisent des technologies de transformation supplémentaires.

De manière générale, il convient de déterminer, en premier lieu, le facteur de pondération du réseau. Les recommandations formulées ci-dessus dans les chapitres 6.1 à 6.6 peuvent être utiles pour choisir la quasi « part fossile » du réseau de chauffage à distance. On procédera ensuite à un deuxième calcul séparé (selon EN-101b ou autre) pour définir la pondération applicable à la fourniture de chaleur pour le bâtiment.

Recommandation : pour les réseaux thermiques à configuration d'alimentation multivalente, c'est le fournisseur d'énergie qui définit le facteur de pondération à appliquer au réseau thermique. C'est lui qui est responsable de fournir la chaleur et le facteur de pondération doit présenter une stabilité à long terme (cf. chap. 6.7 et suivants).

7.1. Exemple 1 : réseau à température moyenne

Dans cet exemple, le réseau thermique fournit une température de 40°C qui peut donc être utilisée directement pour le chauffage au sol. Pour l'eau chaude, la température doit être augmentée sur place afin d'atteindre les 60°C requis. L'étude concerne un bâtiment scolaire avec eau chaude. La fourniture est assurée par le réseau de chaleur calculé ci-dessus au chapitre 6.8 (facteur de pondération de 0,6, soit une « part fossile » < 50%). Les besoins en chaleur pour le chauffage Q_H s'élèvent à 30 kWh/m² (A_{th}/A_E env. 1,0, construction neuve). L'eau chaude est également prise en compte (cf. Illustration 13).

Données sur le bâtiment			Altitude: 500 m	
(Selon la norme SIA 380/1)			Justificatif pour: Preuve officielle	
Zone			1	2
Catégorie d'ouvrage			Ecole	
Avec eau chaude?			oui	
Surface de référence énergétique SRE	A_E	m ²	1000	
Nouvelle construction			oui	
Qh avec débit d'air thermiquement actif				
Débit d'air neuf thermiquement actif	V/A_E	m ³ /hm ²	0,70	
Besoins pour le chauffage effectif avec l'installation de ventilation	$Q_{h,eff}$	kWh/m ²	30,0	

Illustration 13 Feuille « Entrées », eau chaude, ventilation naturelle et besoins pour le chauffage (formulaire EN-101b)

Un diagramme des flux énergétiques permet d'illustrer cette configuration (cf. Illustration 14). Le chauffage des locaux est directement assuré par un échangeur de chaleur (100% de chauffage à distance). Le calcul intègre un coefficient de performance annuel de 5,0 pour la pompe à chaleur pour l'eau chaude. La part de la pompe à chaleur pour couvrir les besoins en eau chaude est égale à « $1 \div COP_a \cdot 100$ » et la contribution du réseau à « **100 - part PAC** ». Cela implique que 20% de l'énergie thermique provient du compresseur (électricité, facteur de pondération de 2) et 80 % du réseau (facteur de pondération de 0,6).

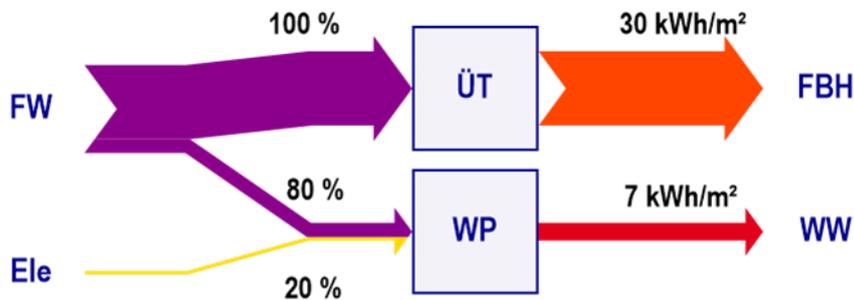


Illustration 14 Diagramme des flux énergétiques illustrant l'exemple de calcul 1 : réseau à température moyenne
FW : chauffage à distance ; Ele : électricité ; ÜT : échangeur de chaleur ; WP : pompe à chaleur ;
FBH : chauffage au sol ; WW : eau chaude.

Il est ensuite très simple de représenter la configuration d'alimentation décrite ci-dessus et le diagramme des flux énergétiques correspondant dans le formulaire du justificatif. Il faut, tout d'abord, sélectionner le type de chaleur à distance adéquat en production de chaleur A, puis saisir les données de la pompe à chaleur en production de chaleur B. L'illustration 15 présente également la formule utilisée afin de calculer le taux de pourcentage pour la couverture assurée par la pompe à chaleur.

Il en résulte une énergie pondérée totale d'un peu moins de 22 kWh/m² ; les exigences énergétiques sont donc respectées. Pour les personnes que cela intéresse, il est également possible de calculer le facteur de pondération total pour le chauffage et l'eau chaude dans le champ de commentaire (cf. illustration 16 avec le résultat).

Production de chaleur:	Rendement / COPa		Taux de couverture [%]	
	Entrée	valeur calculée	Chauffage	Eau chaude
Production de chaleur A				
Chaleur à distance (min. 50% énergies ren., rejets, CCF)	1,00	1,00	100,0	80,0
L'électricité pour les PAC doit être pondérée double				
Production de chaleur B				
Pompe à chaleur eau-eau, qu'eau chaude	5,00	5,00		=1/112*100= 20

Illustration 15 Représentation des flux énergétiques de l'exemple de calcul 1 dans le formulaire EN-101b avec formule pour la part de la pompe à chaleur

Total:	100%	100%	0,6	21,3	36,9	=L54
Respect des exigences:						
	Exigences		Valeur calculée		Respectée?	
Valeur limite	35,0 kWh/m2		21,9 kWh/m2		oui	
Annexes (déposer toute celles de la colonne de gauche) x Marquer d'une croix ce qui convient						
x	Schéma chauffage et ventilation					
x	Calculs externes et fiches techniques		=Valeur calculée/L54= 0,592481203			

Illustration 16 Résultats avec respect des exigences bâtiment (« Oui ») et calcul du facteur de pondération total (formule)

7.2. Exemple 2 : réseau à basse température

Dans cet exemple, le réseau thermique fournit une température de 10°C, de sorte que la température doit être augmentée dans le bâtiment tant pour le chauffage des locaux que pour l'eau chaude. On considère ici le même bâtiment scolaire et le même type de réseau thermique. À titre d'illustration, on utilise les valeurs de calcul standard pour la pompe à chaleur. La méthodologie reste la même que dans l'exemple précédent. Dans le diagramme des flux énergétiques, les deux flux pour le chauffage et pour l'eau chaude comportent ici une part d'électricité qui dépend du coefficient de performance annuel appliqué.

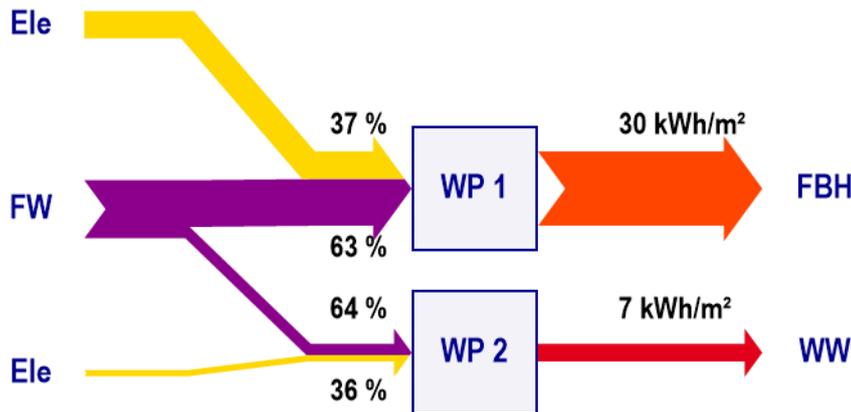


Illustration 17 Diagramme des flux énergétiques pour l'exemple de calcul 2 : réseau à basse température
FW : chauffage à distance ; Ele : électricité ; WP : pompe à chaleur ; FBH : chauffage au sol ; WW : eau chaude.

Le résultat ne varie que légèrement (24 kWh/m² au lieu d'env. 22 kWh/m²). La différence est plus évidente au niveau du facteur de pondération total (0,65 au lieu de 0,59).

Production de chaleur:	Rendement / COPa		Taux de couverture [%]	
	Entrée	Valeur calculée	Chauffage	Eau chaude
Chaleur à distance (min. 50% énergies ren., rejets, CCF)	1,00	1,00	63,0	64,3
L'électricité pour les PAC doit être pondérée double				
Pompe à chaleur eau-eau, qu'eau chaude		2,80		=1/112*100= 35,7
Pompe à chaleur eau-eau, que chauffage		2,70	37,0	
Total:	100%	100%	10,0	14,0
Respect des exigences:	Exigences	Valeur calculée	Respectée?	
Valeur limite	35,0 kWh/m ²	24,0 kWh/m ²	oui	
Annexes (déposer toute celles de la colonne de gauche)		x Marquer d'une croix ce qui convient		
x	Schéma chauffage et ventilation			
x	Calculs externes et fiches techniques			0,650000284

Illustration 18 Calculs, respect des exigences et résultats pour l'exemple de calcul 2

7.3. Exemple 3 : réseau à basse température / solaire thermique

On considère ici la même situation initiale que dans les exemples ci-dessus, cependant dans un immeuble collectif cette fois. Les besoins en eau chaude sanitaire jouent ainsi un rôle plus important. Afin de bien illustrer la méthode, une installation solaire est ajoutée en troisième production de chaleur pour la fourniture d'eau chaude en été (taux de couverture standard : ici 30%).

Il est impératif de représenter ce système sous forme de diagramme des flux énergétiques (cf. Illustration 19). La production de chaleur reste la même que dans l'exemple 2 (COPa de 2,7, part d'électricité de 37%, réseau thermique assurant 63% de la couverture).

Pour l'eau chaude, 30% des besoins sont initialement couverts par l'installation solaire thermique. Le reste (70%) est réparti, selon le COPa de la pompe à chaleur, entre le réseau thermique et l'électricité. Cette répartition se fait comme suit : « **RESTE = 100 - les parts de toutes les autres productions de chaleur** », puis « **Part PAC = 1 ÷ COPa · RESTE** » et, en conséquence, « **Part réseau = 1 - part PAC - RESTE** » comme présenté ci-dessous dans les Illustration 20 à 22.

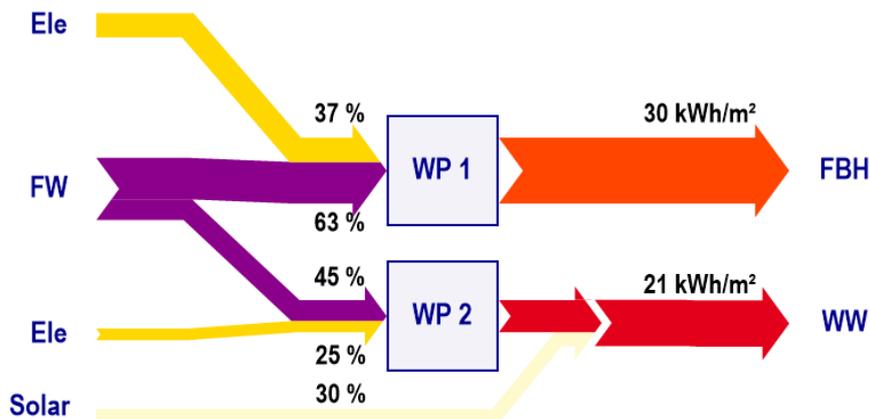


Illustration 19 Diagramme des flux énergétiques illustrant l'exemple de calcul 3 : réseau à basse température

<i>Production de chaleur B</i>			
Pompe à chaleur eau-eau, qu'eau chaude		2,80	$=1/112*(100-L20)= 25,0$
<i>Production de chaleur C</i>			
Pompe à chaleur eau-eau, que chauffage		2,70	37,0
<i>Production de chaleur D</i>			
Capteurs solaires thermiques, qu'eau chaude		1,00	30,0
Surface d'absorbeur [m2]	12		30,0

Illustration 20 Calcul du taux de couverture de la pompe à chaleur en cas de couverture partielle par un autre type de production, et résultat

Production de chaleur:	Rendement / COPa		Taux de couverture [%]	
	Entrée	valeur calculé	Chauffage	Eau chaude
Chaleur à distance (min. 50% énergies ren., rejets, CCF)	1,00	1,00	63,0	=100-L12-L20 = 45,0
L'électricité pour les PAC doit être pondérée double				
<i>Production de chaleur B</i>				
Pompe à chaleur eau-eau, qu'eau chaude		2,80		25,0
<i>Production de chaleur C</i>				
Pompe à chaleur eau-eau, que chauffage		2,70	37,0	
<i>Production de chaleur D</i>				
Capteurs solaires thermiques, qu'eau chaude		1,00		30,0
Surface d'absorbeur [m2]	12			30,0

Illustration 21 Calcul du taux de couverture total du chauffage à distance en cas de couverture partielle par un autre type de production, et résultat

Total:	100%	100%	11,9	17,0	50,8
Respect des exigences:	Exigences		Valeur calculée	Respectée?	
Valeur limite	35,0 kWh/m2		28,9 kWh/m2	oui	

Annexes (déposer toute celles de la colonne de gauche)		x	Marquer d'une croix ce qui convient
x	Schéma chauffage et ventilation		
x	Calculs externes et fiches techniques		0,568702114

Illustration 22 Résultat final avec chaleur totale, énergie finale pondérée et facteur de pondération total

8. Conclusion et recommandations

L'étude arrive à la conclusion que les facteurs de pondération utilisés jusqu'à présent peuvent continuer à l'être et qu'ils accordent un certain bonus en termes de politique énergétique aux réseaux de chauffage à distance faisant en particulier appel à la biomasse. Dans le contexte des facteurs de pondération, il s'avère, en outre, admissible d'ignorer les dépenses pour le transport et les déperditions de chaleur : cette simplification permet de pondérer les formes d'énergie fournies au réseau thermique comme prévu par [Rglmt ME] et de les transférer dans le système des facteurs de pondération nationaux utilisés pour la « charge » des bâtiments raccordés au réseau.

Le présent rapport propose ici des recommandations pour divers cas relativement simples. En ce qui concerne les configurations d'alimentation multivalentes complexes, l'étude a su montrer qu'il est possible de les représenter dans le formulaire du justificatif EN-101b que les fournisseurs d'énergie peuvent utiliser sur la base des données de dimensionnement ou des valeurs mesurées pluriannuelles (validité assurée à long terme) afin d'attester la charge concrète dans le réseau.

Recommandation pour la méthode de calcul

- Le présent rapport est en mesure d'offrir une ligne directrice pour évaluer les facteurs de pondération nationaux dans le cas des configurations d'alimentation plus simples. Les autorités d'exécution, les planificateurs et les exploitants de réseaux thermiques y trouveront une présentation transparente des différentes étapes de calcul.
- Le réseau thermique est tout d'abord représenté dans le formulaire du justificatif EN-101b. Le fournisseur d'énergie est censé déterminer le facteur de pondération national sur cette base (valeur garantie, cf. ci-dessous Illustration 23).
- Dans une deuxième étape, on utilise, pour le côté bâtiment, la version définie précédemment pour le réseau thermique. Un diagramme des flux énergétiques permet de représenter les différentes parties de la fourniture d'énergie même pour les bâtiments avec configuration d'alimentation multivalente.

Chaleur à distance (y c. Rejets de chaleur de UIOM, STEP, industrie) part de chaleur fossile	≤ 25%	0,4
	≤ 50%	0,6
	≤ 75%	0,8
	> 75%	1,0

Illustration 23 Facteurs de pondération nationaux pour les réseaux thermiques (chauffage à distance) selon [FaPoNa]

9. Annexe

Les tableaux ci-dessous présentent différentes combinaisons bivalentes impliquant une pompe à chaleur et une couverture de la charge de pointe par un système à combustion. On utilisera l'illustration 24 pour évaluer la couverture de la charge de pointe avec une énergie fossile, et l'illustration 25 pour évaluer une couverture avec la biomasse. Il en résulte les correspondances suivantes pour le choix concret du taux de pondération ou pour les entrées à saisir dans le formulaire EN-101b :

- « Énergie fossile ≤ 25% » en **vert**, **taux de pondération : 0,4**,
- « Énergie fossile ≤ 50% » en **jaune**, **taux de pondération : 0,6** et
- « Énergie fossile ≤ 75% » en **orange**, **taux de pondération : 0,8** et
- « Énergie fossile > 75% » en **marron**, **taux de pondération : 1,0**.

COPa →		WP									
		2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	6.0	7.0	8.0	10.0
Fossil bis	5%										
Fossil bis	10%										
Fossil bis	15%								0.4		
Fossil bis	20%										
Fossil bis	25%					0.6					
Fossil bis	30%										
Fossil bis	35%										
Fossil bis	40%			0.8							
Fossil bis	45%	1.0									
Fossil bis	50%										
Fossil grösser 50%											

Illustration 24 Tableau d'aide pour les réseaux thermiques à alimentation bivalente comportant une pompe à chaleur (WP) et une couverture de la charge de pointe avec énergie fossile

COPa →		WP									
		2.5	3.0	3.5	4.0	4.5	5.0	6.0	7.0	8.0	10.0
Biomasse bis	5%										
Biomasse bis	10%										
Biomasse bis	15%								0.4		
Biomasse bis	20%										
Biomasse bis	25%										
Biomasse bis	30%										
Biomasse bis	35%			0.6							
Biomasse bis	40%										
Biomasse bis	45%	0.8									
Biomasse bis	50%										

Illustration 25 Tableau d'aide pour les réseaux thermiques à alimentation bivalente comportant une pompe à chaleur (WP) et une couverture de la charge de pointe avec biomasse