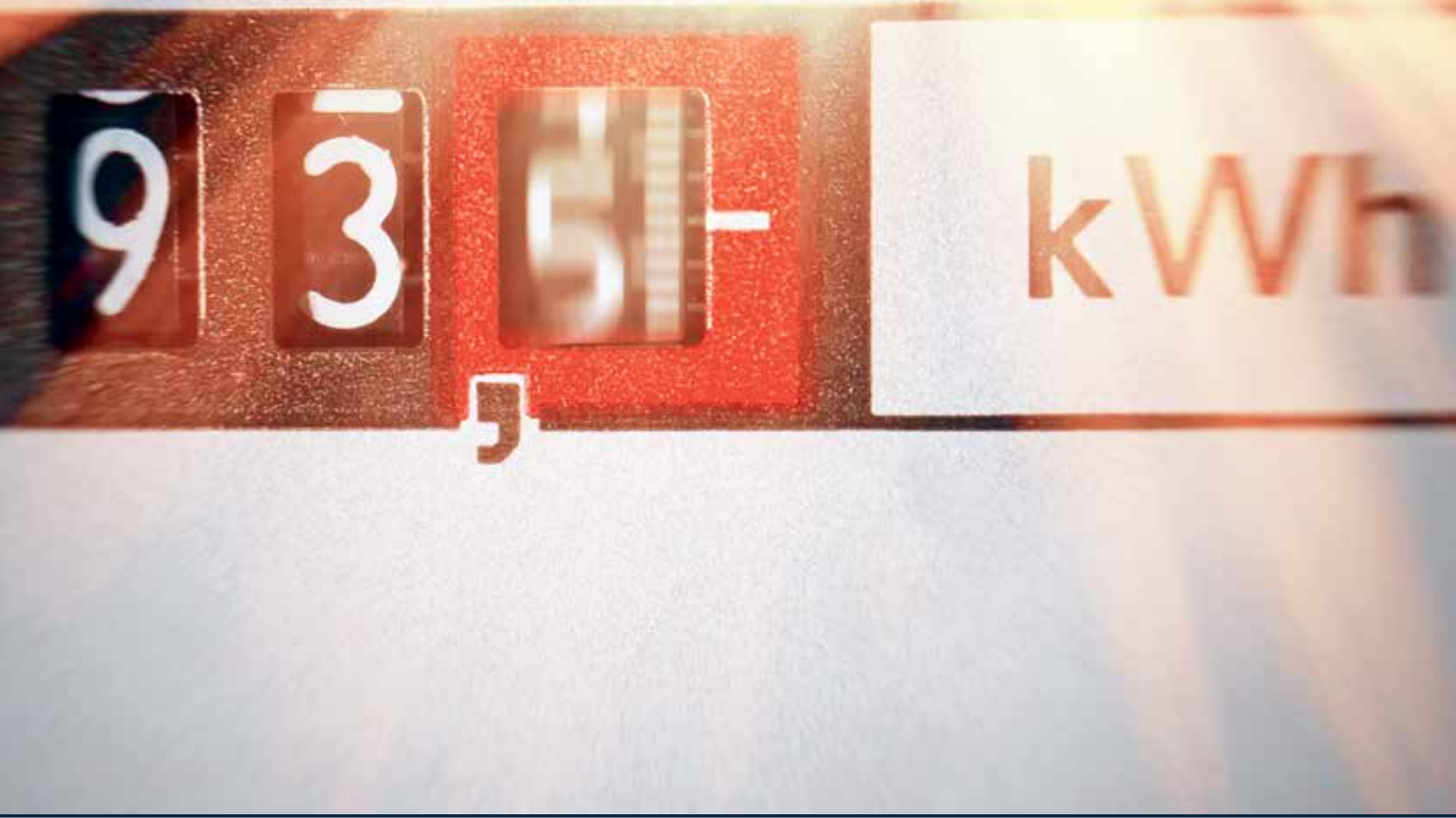


Balmer | Hubbuch | Sandmeier

# Optimisation énergétique de l'exploitation

Rendre les bâtiments plus efficaces





# Contenu

<b>1. Définitions et aspects conceptuels</b>	<b>5</b>	<b>4. Méthodologie</b>	<b>87</b>
1.1 Qu'est-ce que l'optimisation énergétique de l'exploitation?	5	4.1 Contexte général et exploitation à l'état actuel	87
1.2 Objectifs et points critiques	7	4.2 Obtenir, vérifier et contrôler la plausibilité des données	87
1.3 Bénéfices pour propriétaire, exploitant et utilisateur	8	4.3 Relever, analyser et représenter les données	90
1.4 OéE dans le cycle d'exploitation des bâtiments	9	4.4 Déterminer et utiliser des indices	93
1.5 Conditions cadres	9	4.5 Élaborer et hiérarchiser les mesures	94
1.6 Que peuvent apprendre les acteurs les uns des autres?	11	4.6 Réaliser des mesures	101
1.7 Modèles commerciaux et concepts contractuels	12	4.7 Provoquer des décisions	106
1.8 Qui prend en charge les coûts	13	4.8 Optimisation de l'exploitation avec et sans investissement?	109
1.9 Potentiel	13	4.9 Rentabilité	112
1.10 Bibliographie	14	4.10 Contrôle et garantie de résultat	118
<b>2. Confort et énergie</b>	<b>15</b>	4.11 Rapport	121
2.1 Bases physiologiques	15	4.12 Risques d'exploitation	122
2.2 Conditions cadres de la physique du bâtiment	19	4.13 Bibliographie	123
2.3 Exigences de confort et consommation d'énergie	25	<b>5. Communication</b>	<b>125</b>
2.4 Bibliographie	28	5.1 Une OéE nécessite davantage que des compétences techniques	125
<b>3. Installations et systèmes</b>	<b>29</b>	5.2 Motivation	127
3.1 Éclairage	29	5.3 Gestion des résistances et conflits	129
3.2 Installations de transport dans le bâtiment	34	5.4 Prospection	132
3.3 Chauffage	36	5.5 Argumentation	135
3.4 Installations de production d'eau chaude	42	5.6 Communication et instructions aux utilisateurs	136
3.5 Installations sanitaires	46	5.7 Interfaces	140
3.6 Ventilation	49	5.8 Documentation d'ouvrage	141
3.7 Refroidissement des locaux	60	5.9 Bibliographie	143
3.8 Froid de climatisation	63	<b>6. Exemples</b>	<b>145</b>
3.9 Air comprimé	70	6.1 Potentiel d'optimisation, même pour les nouveaux bâtiments	145
3.10 Électronique du bâtiment	71	6.2 OéE; point de départ d'une modernisation des installations	147
3.11 Automatisation du bâtiment	74	6.3 Complexe avec ancien et nouveau bâtiment	150
3.12 Utilisation de la chaleur perdue	77	6.4 Grand potentiel pour les salles de gymnastique	153
3.13 Alimentation en énergie électrique	81	<b>7. Annexe</b>	<b>157</b>
3.14 Photovoltaïque	82	7.1 Notions, définitions	157
3.15 Solaire thermique	83	7.2 Abréviations	159
3.16 Bibliographie	85	7.3 Outils de travail	160
		7.4 Auteurs	161
		7.5 Index des mots clés	163

## Impressum

**Optimisation énergétique de l'exploitation – Rendre les bâtiments plus efficaces**

**Auteurs:** Matthias Balmer, Markus Hubbuch, Ernst Sandmeier  
Avec des contributions de Zoran Alimpic, Peter Böhler, Daniel Imgrüth, Thomas Lang, Angelo Lozza, Raphael Neuhaus, Roger Neukom, Björn Schrader, Roland Stadelmann, Olivier Steiger, Volker Wouters

**Traduction:** Anna Piguet,  
Piguet architectes Sàrl

**Lectorat spécialisé:** Pierre Renaud,  
Jean-Luc Renck

**Révision et mise en page:**  
Faktor Journalisten AG, Zurich;  
René Mosbacher, Noemi Bösch

**Photo de couverture:** fotojog via  
iStockphoto

Cet ouvrage fait partie de la série de publications spécialisées «Construction durable et rénovation». Cette publication a été financée par l'Office fédéral de l'énergie OFEN/SuisseEnergie et la Conférence des directeurs cantonaux de l'énergie (EnDK).

**Commande:** À télécharger (gratuitement) sous [www.energieschweiz.ch](http://www.energieschweiz.ch)

Avril 2021

## Pertinent et peu risqué

Construire des bâtiments économes en énergie représente désormais l'état actuel de la technique en Suisse. Pourtant, ils n'atteignent pas toujours les valeurs planifiées pendant l'exploitation. D'une part, ceci est dû au comportement des utilisateurs, difficile à planifier. D'autre part, les installations techniques ne sont pas exploitées de manière optimale. Pour ces raisons, même des bâtiments neufs et construits selon des labels énergétiques, consomment souvent nettement plus d'énergie que nécessaire. Le constat est encore plus frappant pour les bâtiments existants. C'est ici que se situe le véritable problème si nous voulons atteindre les objectifs de la politique énergétique et climatique. Plus du trois quarts des bâtiments ont été construits avant 1990 et ne correspondent pas aux exigences actuelles en ce qui concerne l'énergie. C'est un potentiel dormant important de gains en efficacité. Réaliser pleinement ce potentiel est l'objectif de l'optimisation énergétique de l'exploitation, l'OéE. D'expérience, il est possible de faire des économies d'énergie allant de 10 à 15 pour cent. Dans la pratique, ce pourcentage est souvent plus élevé pour les objets en exploitation propre et plutôt moins pour ceux exploités par des tiers.

Certes, l'OéE ne peut pas à elle seule sauver le climat, mais elle représente une contribution indiscutable et décharge aussi les utilisateurs et/ou le propriétaire de coûts inutiles. Le modèle d'activité est intéressant: par définition, les dépenses liées à une OéE doivent être amorties après une période de deux ans par des économies de coûts. De nos jours, il est certainement difficile d'investir de l'argent de manière plus pertinente et avec un risque plus faible. Tout de même: si l'OéE est entre temps bien établie, elle n'est pas aussi répandue qu'elle le devrait.

C'est un objectif déclaré de cet ouvrage qui est sauf erreur le premier sur ce thème en Suisse. Il est conçu comme un recueil et un outil de travail destiné aux spécialistes OéE et aux personnes souhaitant le devenir. En principe, il poursuit le thème là où s'arrête le cahier technique SIA 2048 – Optimisation énergétique de l'exploitation. Il complète les aspects conceptuels et la théorie par le savoir-faire et les expériences issues de la pratique. Il enrichit les connaissances de base avec des conseils, exemples réels et instructions de travail concrètes. Il n'est pas indispensable de prendre connaissance de son contenu du début à la fin. Dans la mesure du possible, les différents chapitres sont écrits comme des entités indépendantes pouvant être lues séparément.



# Définitions et aspects conceptuels

## 1.1 Qu'est-ce que l'optimisation énergétique de l'exploitation?

**Ernst Sandmeier**

Le cahier technique SIA 2048 [1] définit l'optimisation énergétique de l'exploitation (OéE) de la manière suivante: «L'optimisation énergétique de l'exploitation (OéE) démontre des mesures pour l'augmentation de l'efficacité énergétique qui ne produisent pas de réduction sensible du confort pour les utilisateurs du bâtiment, qui présentent une courte durée d'amortissement (en règle générale moins de 2 ans), qui sont bon marché et qui peuvent être réalisées, en règle générale, sans processus de planification ordinaire. L'OéE présente une procédure par étapes avec planification structurée et avec réalisation de mesures individuelles. Le résultat est la somme des mesures réussies et réalisées de manière permanente».

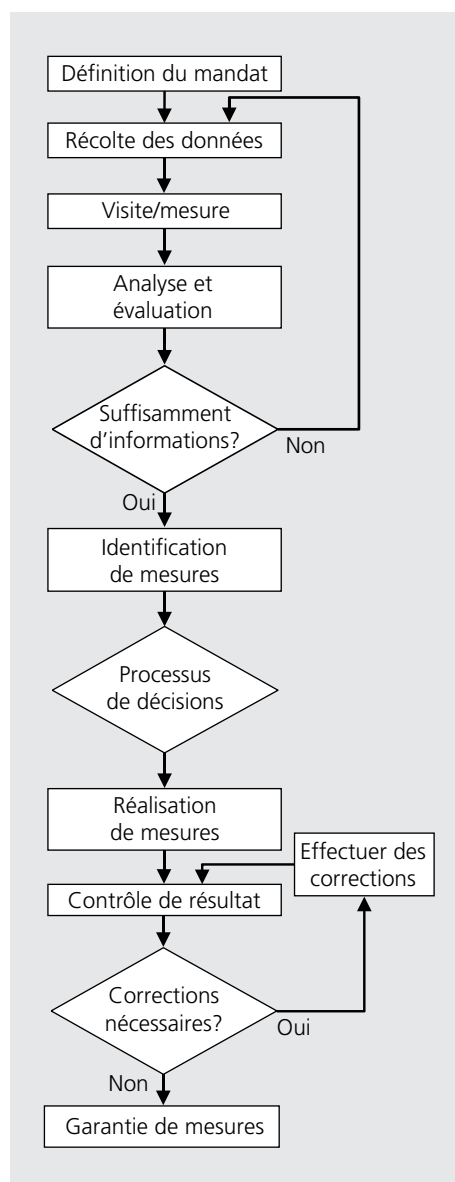
Dans la pratique, l'OéE est toujours un projet avec un début et une fin définis. Mais elle englobe toujours des dispositions qui assurent la pérennité des mesures prises sur le long terme, donc au-delà de la fin du projet. La norme précitée délimite également les activités – toutes aussi importantes – qui ne font pas l'objet d'une OéE:

- Toutes les activités avant la réception et la remise d'un bâtiment, d'une installation ou d'un élément de construction au propriétaire. En font partie les mesures constructives, travaux d'installation et montages, mises en exploitation et tests intégraux (au sens du cahier technique SIA 2046) et la réception en tant que telle
- Planification de remplacement d'installations
- Remplacement (partiel) d'installations
- Évaluation et appels d'offres de nouveaux appareils
- Activités habituelles pour la maintenance
- Remises en état liées à l'obsolescence ou pour des raisons de fonctionnement
- Contrôle du respect des prescriptions légales

### Gestion des défauts

Il arrive souvent que des défauts apparaissent aux installations ou parties d'installation au cours d'une OéE. Pourtant, l'élimination des défauts ne fait pas partie d'une OéE. Elle devrait idéalement être réalisée avant le début de l'OéE par le constructeur de l'installation.

Les défauts mis à jour peuvent influencer les résultats d'une OéE de manière significative et ne peuvent pas être ignorés, dans la plupart des cas. Dans ce sens, il est par exemple délicat si une commande de dis-



*Illustration 1.1: Une OéE est toujours un projet avec un début et une fin définis.*

tribution et production énergétiques orientée sur les besoins ne fonctionne pas.

C'est pourquoi les défauts découverts dans le cadre d'une OéE doivent être immédiatement signalés au propriétaire. C'est à lui de prendre ensuite des mesures pour les éliminer.

Ainsi, une OéE n'englobe pas uniquement les mesures d'optimisation réalisées dans le cadre du projet. Elle fournit également des pistes sur des mesures d'assainissement possibles qui doivent être lancées dans des projets séparés. Le tableau 1.1 fournit une délimitation entre les deux.

La délimitation par rapport à l'élimination des défauts n'est souvent pas facile. Répondre aux questions suivantes peut clarifier cette délimitation: qu'est-ce qui a été commandé précisément? Dans quelle configuration et avec quels paramètres de fonctionnement? Qui élimine les défauts

générés par une commande non appropriée, si la fourniture et la pose ont été effectuées correctement?

### Investissement versus optimisation

Il est possible que des mesures identifiées lors du relevé de l'état existant (voir chapitres 4.1 à 4.3) baissent effectivement la consommation totale d'énergie finale, mais impliquent des investissements importants. Il arrive aussi que des mesures recommandées apparaissent dont la durée d'amortissement dépasse 2 ans. De telles mesures ne doivent jamais faire partie d'un projet OéE. Elles doivent toujours constituer un mandat séparé de prestations de planification. Par contre, elles peuvent éventuellement figurer comme mesures d'amélioration dans une convention d'objectifs (voir chapitre 1.5).

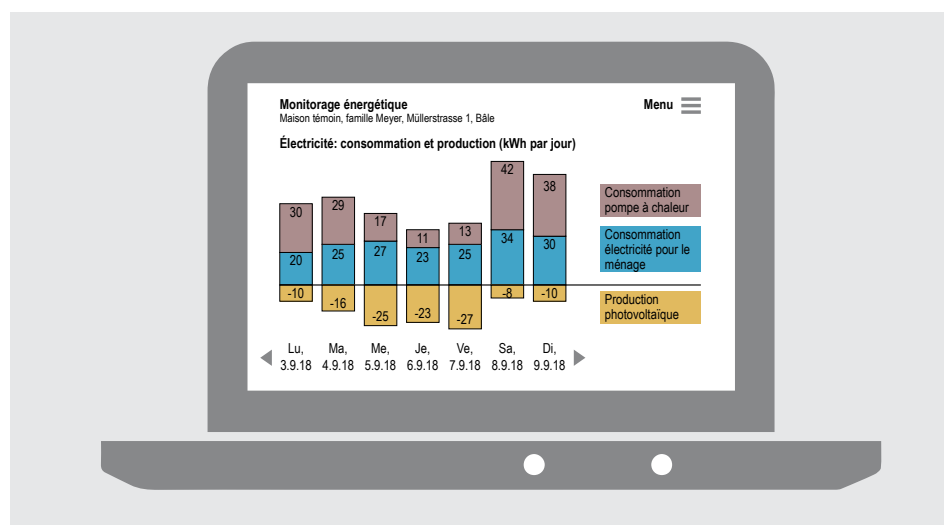


Illustration 1.2:  
Un monitoring  
énergétique fait  
toujours partie inté-  
grante d'une OéE.  
(Source: Minergie)

#### Une OéE englobe:

- La vérification des exigences des utilisateurs
- La documentation des mesures (envisagées, rejetées, réalisées) ainsi que la réduction prévue de la consommation
- La planification, la mise en place et le cas échéant l'amélioration d'un monitoring énergétique
- Les modifications de la régulation (valeurs de consigne, heures de fonctionnements, etc.)

#### Une OéE n'englobe pas:

- Les prestations avant la remise du bâtiment/de l'installation au mandant (propriétaire), y compris la réception
- L'élimination de défauts
- L'évaluation et les appel d'offres de nouveaux appareils
- Le contrôle du respect des prescriptions légales
- La maintenance, l'entretien/la remise en état
- Les mesures pour augmenter l'efficacité énergétique qui impliquent des investissements conséquents/ou une durée d'amortissement supérieure à deux ans

Tableau 1.1:  
Qu'est-ce qui fait  
partie d'une OéE,  
qu'est-ce qui n'en  
fait pas partie?



## 1.2 Objectifs et points critiques

### Objectifs

Le cahier technique SIA 2048 définit les objectifs de l'OéE de la manière suivante: «Les objectifs principaux d'une OéE sont d'adapter le fonctionnement des installations à l'utilisation effective, respectivement au besoin effectif et de l'y accorder ainsi que de déterminer, d'établir, d'instaurer et de maintenir un fonctionnement énergétiquement optimal de façon continue.

Les sous-objectifs de l'OéE sont:

- Vérifier les objectifs des utilisateurs.
- Identifier le non-respect des objectifs, démontrer des tolérances.
- Identifier des états de fonctionnement non optimaux.
- Identifier et éliminer des dysfonctionnements d'installation et de systèmes (p.ex. installations de récupération de chaleur, minuterics ou couplages manuels en panne, installations de récupération de chaleur encrassées, vannes bloquées, équilibrages hydrauliques).
- Identifier, activer, exploiter et maintenir les potentiels d'augmentation de l'efficacité énergétique.
- Intégrer des mesures d'exploitation (mesures organisationnelles et techniques) pour l'augmentation de l'efficacité énergétique dans le processus d'exploitation et former dans ce domaine le personnel d'exploitation et l'utilisateur, respectivement les utilisateurs finaux.
- Réaliser et documenter le contrôle de résultat des mesures réalisées.
- Préparer les bases pour le suivi énergétique.
- Contrôler l'exhaustivité et la plausibilité des résultats des données issues du suivi énergétique.
- Éviter et réduire les risques d'interruptions d'exploitation.»

La condition préalable pour une OéE réussie est en principe que les spécialistes OéE collaborent de manière optimale avec les responsables de la maintenance et de la

sécurité du fonctionnement des installations techniques.

### Points critiques et obstacles

La SIA 2048 liste aussi les probables défis à surmonter pour une OéE réussie. Ils devraient de préférence être surmontés en commun avec les parties concernées avant le début du projet. Les obstacles typiques suivants peuvent surgir (contenu basé sur la SIA 2048):

- Les exploitants responsables ne sont pas clairement désignés.
- La délimitation de responsabilité entre l'exploitant, le propriétaire et l'utilisateur n'est pas claire.
- L'exploitant ne met aucunes ressources personnelles à disposition.
- Les compétences techniques font défaut sur place.
- La documentation des installations est incomplète, pas à jour, manque entièrement ou il n'est pas possible d'y accéder.
- Des changements de paramètres de réglage ne sont pas consignés (le journal des installations manque ou n'est pas mis à jour).
- Des exigences d'utilisation ne sont pas définies ou pas assez précisément.
- Les périodes de garantie de certains composants de l'installation ne sont pas connues.
- Des risques d'exploitation sont vagues, une analyse des risques fait défaut.
- Un concept de mesure manque et/ou l'enregistrement et l'évaluation des données de mesure sont insuffisants.
- Des installations comportent des défauts.
- La facturation des coûts du projet d'OéE n'est pas clarifiée (p.ex. refacturation aux locataires).

Les personnes averties des obstacles principaux peuvent s'y préparer et prévoir des mesures appropriées pour les surmonter.

### 1.3 Bénéfices pour propriétaire, exploitant et utilisateur

En particulier en cas d'objets de grande ampleur avec différents partenaires, la situation est complexe. Les bénéfices principaux d'une OéE sont commentés ci-dessous par partenaire concerné. Certains bénéfices sont aussi profitables à plusieurs groupes.

#### Avantages pour les propriétaires

- L'émission directe et indirecte de polluants et de gaz à effet de serre est réduite. Cela peut éventuellement aboutir à un remboursement de la taxe sur le CO<sub>2</sub>. Dans tous les cas, une telle réduction améliore l'image de l'entreprise.

- L'OéE révèle les mesures les plus économiques pour l'augmentation de l'efficacité énergétique et elle les réalise de manière permanente.

- Des investissements présumés ou déjà prévus pour des augmentations de capacité ou de performance peuvent être évités ou remis à plus tard.

- Une exploitation énergétiquement optimisée peut prolonger la durée de vie des installations, réduire les défaillances et augmenter la sécurité de fonctionnement. Par conséquent, une OéE apporte une contribution essentielle à la préservation et à l'augmentation de la valeur d'un bien immobilier.

- Des défauts d'une installation sont identifiés et peuvent être éliminés par les responsables.

- Avantages sur le plan commercial et de la communication: la politique, la société et les consommateurs exigent des actions dans le domaine de la durabilité de la part des entreprises.

- Les grands consommateurs dans le sens des lois cantonales sur l'énergie doivent soit conclure un accord sur les objectifs, soit effectuer une analyse énergétique ([www.endk.ch](http://www.endk.ch)) [2]. Dans les deux cas, l'OéE représente une mesure significative.

#### Avantages pour les exploitants

- Des coûts pour la maintenance et pour l'exploitation peuvent être réduits par l'optimisation énergétique de l'exploitation.

- Un monitoring qui saisit les grandeurs énergétiquement déterminantes permet au-delà du projet OéE d'avoir des arguments pertinents face au propriétaire.

- L'exploitant acquiert des connaissances dont il peut éventuellement tirer profit ailleurs.

#### Avantages pour les utilisateurs

- Les installations exploitées de manière optimale améliorent en général le confort.

- Étant donné que les coûts d'exploitation sont souvent répercutés sur les utilisateurs, ceux-ci en profitent également sur le plan financier.

*Illustration 1.3:  
Les grands consommateurs, tels que les centres de calcul, représentent un grand potentiel en matière d'OéE.  
(Photo: pinkeyes/stock.adobe.com)*





### Supplément perçu sur le réseau

En plus de la quantité d'énergie consommée, les consommateurs d'électricité payent un supplément sur le réseau – en quelque sorte pour l'utilisation du réseau (art. 35ss de la loi sur l'énergie [6]). Les entreprises, dont les frais d'électricité représentent au moins 10 % de la valeur ajoutée brute, obtiennent le remboursement intégral du supplément sur le réseau qu'elles ont acquitté (art. 39ss LEné). Une des conditions est l'amélioration de leur efficacité énergétique, arrêtée par convention d'objectifs avec la Confédération.

### MoPEC

La législation fédérale (loi sur l'énergie, loi sur l'approvisionnement en électricité, loi sur le CO<sub>2</sub>, et autres) délègue aux cantons différentes tâches de politique climatique et énergétique. Des dispositions fédérales sont définies par exemple par:

■ L'article 45 de la loi sur l'énergie (LEne); il précise les domaines pour lesquels les cantons doivent édicter des dispositions.

■ L'exécution cantonale de l'article 5, alinéa 1 à 4 ainsi que l'article 14, alinéa 4 (première phrase) de la loi sur l'approvisionnement en électricité (LApEl) [7]; elle règle entre autres la désignation des zones de desserte des gestionnaires de réseau, l'obligation de raccordement en dehors de la zone de desserte des gestionnaires de réseau ou des zones à bâtir ainsi que des mesures propres à réduire les différences disproportionnées entre les tarifs d'utilisation du réseau.

■ L'article 9 de la loi sur le CO<sub>2</sub> [5]; il oblige les cantons à veiller à ce que les émissions de CO<sub>2</sub> générées par les bâtiments chauffés à l'aide d'agents énergétiques fossiles soient réduites conformément aux objectifs fixés; de plus, les cantons sont tenus de faire rapport annuellement sur les mesures prises.

Pour la mise en œuvre énergétique, les services cantonaux ont convenu de standards communs, le «Modèle de prescriptions énergétiques des cantons» (MoPEC), dans le cadre de la conférence des directeurs cantonaux de l'énergie (EnDK). Le MoPEC

est repris dans les lois et ordonnances cantonales sur l'énergie, ceci sans modification de ses parties déterminantes.

Le premier MoPEC a été approuvé en 1992, le plus récent le 9 janvier 2015 [2]. Le 20 avril 2018, il a été mis à jour sur le plan éditorial, par exemple pour la référence aux normes. Les préparatifs sont actuellement en cours pour la prochaine édition du MoPEC.

Avec la reprise des contenus déterminants du MoPEC dans les législations cantonales, l'uniformisation de la mise en œuvre en Suisse progresse. Dans le détail, les dispositions cantonales peuvent toutefois diverger les unes des autres et il faut bien examiner les prescriptions en vigueur au cas par cas. Le site Internet de l'EnDK ([www.endk.ch](http://www.endk.ch)) [8] donne un aperçu à ce sujet.

Le MoPEC 2014 exige une OéE pour tous les bâtiments existants qui ne sont pas de l'habitation (sites d'exploitation) et qui ont une consommation d'électricité annuelle supérieure à 200 MWh/a. Les justificatifs, délais et documents nécessaires sont spécifiés dans les aides correspondantes à l'application [9]. En outre, le MoPEC comprend des prescriptions pour les grands consommateurs (d'énergie), à savoir tous les consommateurs d'énergie (finale) dont la consommation d'électricité est supérieure à 500 MWh/an, respectivement 5000 MWh/an sous forme de combustibles.

### Convention d'objectifs

Les conventions d'objectifs avec les autorités d'exécution sont une possibilité donnée aux entreprises pour satisfaire aux dispositions légales de la Confédération (loi sur le CO<sub>2</sub>, LEné) et des cantons (MoPEC). Les consommateurs d'énergie s'engagent par convention à réduire de 10 % au minimum leur consommation d'énergie finale et/ou leurs émissions de gaz à effet de serre dans un délai donné.

Les conventions d'objectifs sont souvent conclues avec le soutien de spécialistes de l'énergie et/ou d'une agence de l'énergie mandatée par la Confédération. Elles sont en règle générale contrôlées annuellement par un spécialiste accrédité. Dans le

contexte de ces conventions, les OéE sont un moyen avantageux pour réduire la consommation d'énergie finale et/ou des émissions de gaz à effet de serre.

### 1.6 Que peuvent apprendre les acteurs les uns des autres?

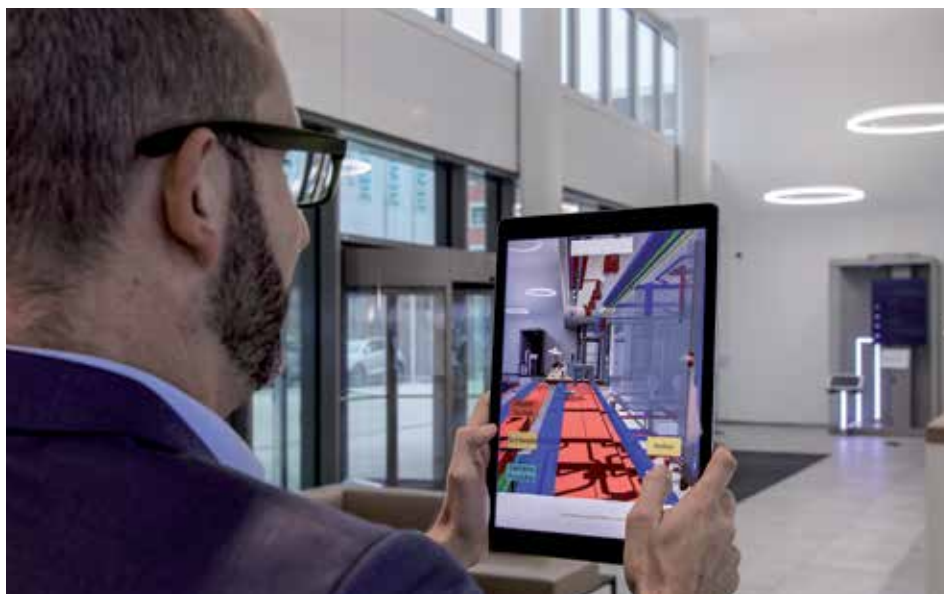
Les bâtiments sont traditionnellement conçus par les architectes et les ingénieurs civils et les installations techniques sont ajoutées dans un deuxième temps par les ingénieurs spécialisés. Depuis peu, les simulations d'exploitation sont utilisées plus fréquemment afin de vérifier certaines valeurs indicatives données. Les simulations se basent sur des hypothèses issues de la planification et ne correspondent pas nécessairement au mode de fonctionnement du bâtiment achevé.

Un changement de propriétaire pendant la planification peut être à l'origine de telles divergences. Il se peut également que l'affectation ait changé en cours de planification. Même sans changement de propriétaire ni d'affectation, il est extrêmement difficile d'estimer de manière fiable le comportement des utilisateurs. A titre d'exemple, les estimations des charges internes sont incertaines, car jusqu'au dernier moment les appareils choisis pour l'exploitation ne sont pas clairement connus.

#### Échanger les informations!

Il est d'autant plus important que les planificateurs présentent ouvertement aux exploitants toutes leurs hypothèses et données pour le fonctionnement des installations. Dans la pratique, il n'est évidemment pas rare que ces informations se perdent lors de la remise du bâtiment. À tout le moins, elles n'arrivent souvent pas au complet jusqu'à l'exploitant.

Dès lors, le propriétaire devrait initier et suivre rapidement les échanges entre planificateurs, constructeurs et exploitants. Cette procédure facilite la compréhension des exigences aux autres parties prenantes et favorise l'échange des informations essentielles pour l'exploitation. La probabilité d'une mise en exploitation et d'un fonctionnement sans accrocs est ainsi augmentée. À l'avenir, on peut espérer que le flux d'informations entre les acteurs bénéficiera d'une utilisation renforcée du BIM (Building Information Modeling).



*Illustration 1.5:  
Le BIM pourrait à l'avenir simplifier le flux d'informations entre les participants. (Photo: Siemens)*

## 1.7 Modèles commerciaux et concepts contractuels

Afin de finaliser avec succès un projet OéE, des pouvoirs de décision et des connaissances spécialisées sont nécessaires. C'est pourquoi l'impulsion doit venir du propriétaire des installations. C'est le seul moyen de garantir que les ressources nécessaires sont mises à disposition. Les spécialistes de l'énergie sont chargés de la partie technique. En fonction de leur position vis-à-vis du mandant et du propriétaire, différents modèles d'affaires et concepts contractuels entrent en ligne de compte.

### Contrat à durée indéterminée

Si la relation contractuelle entre spécialiste de l'énergie et propriétaire est de longue durée (contrat de travail ou de service), il est conseillé d'intégrer les projets OéE périodiques dans le cahier des charges. Il va de soi que le mandant doit vérifier en continu la réalisation et les résultats de ces projets. Si l'OéE ne fait pas partie du cahier des charges, le mandat sous forme de contrat de prestations est une autre forme possible.

### Contrat de prestations

Le projet OéE – mandat de prestations extraordinaires attribué suite à une décision managériale – est donné à un spécialiste de l'énergie (externe). Il englobe toutes les tâches décrites au chapitre 4 du cahier technique SIA 2048 [1]. Toutes les tâches sont définies en détail par contrat. La rémunération selon le temps employé est la plus usuelle, sans tenir compte de la réussite du projet, respectivement des économies en matière de coûts énergétiques.

Le contrat de prestations se base souvent sur une offre détaillée du spécialiste de l'énergie. L'Agence de l'énergie pour l'économie (AEnEc) ou encore l'Agence clean-tech suisse (ACT) met à disposition des listes de spécialistes OéE accrédités.

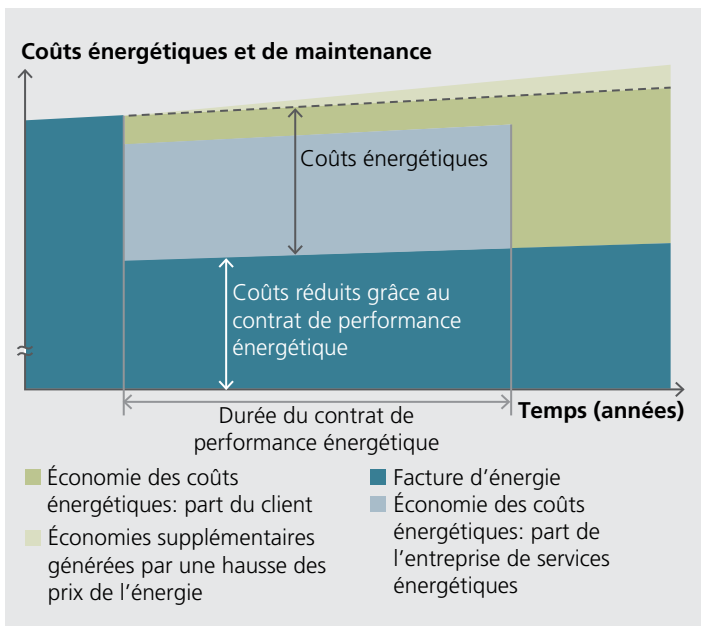
### Contrat de performance énergétique

Le contrat de performance énergétique partage les économies réalisées entre le mandant et le mandataire. Elles font donc partie des honoraires pour la prestation du spécialiste. Par principe, la détermination des économies est sujette à des impondérables, car le mode de calcul et la période considérée sont toujours difficiles à mettre en place. Le contrat doit d'autant plus donner réponse à toutes les éventualités. Les points suivants sont à régler en particulier:

- La grandeur de référence essentielle qui quantifie la réussite; ce sera la plupart du temps la consommation d'énergie finale, liée à des données telles que volume de production, effectif du personnel, degré-jour de chauffage et similaires
- Manières de traiter les changements de prix en ce qui concerne l'énergie finale
- Manière de traiter l'ouverture ou la fermeture de parties de l'exploitation

Le type de contrat le plus adapté à chaque cas spécifique est laissé à l'appréciation des acteurs et reste par conséquent sujet à négociation.

**Illustration 1.6:**  
Le contrat de performance énergétique fonctionne ainsi. (Source: Swissecso)



## 1.8 Qui prend en charge les coûts

Un projet OéE implique différents coûts, par exemple:

- Prestations d'honoraires pour les spécialistes OéE
- Coûts de personnel de l'entreprise d'exploitation, par exemple pour la mise à disposition de documents, pour les visites ou la mise en œuvre des mesures
- Coûts de personnel pour le propriétaire, par exemple réceptionner la liste des mesures, participer au processus décisionnel
- Frais de mise en œuvre, donc frais pour matériel, personnel et honoraires

Les frais incombant aux exploitants et propriétaires doivent être inscrits dans leur budget ordinaire. Les coûts pour la réalisation des mesures peuvent être répercutés sur les charges des locataires. Actuellement (octobre 2019), il n'y a ni base légale, ni pratique reconnue, ni jugement qui règle la répartition de ces coûts.

En général, les coûts énergétiques baissent à la suite d'une OéE de sorte que les coûts de réalisation sont amortis au cours des deux premières années de décompte. Lors des années de décompte qui suivent, ce sont surtout les locataires qui profitent financièrement des réductions des coûts d'exploitation.

## 1.9 Potentiel

L'OéE a déjà fait ses preuves pour économiser de l'énergie et des frais d'exploitation, elle est déjà largement répandue. Il arrive cependant souvent que seuls quelques aspects ou corps de métier soient traités, ce qui limite le bénéfice obtenu. Une étude à large échelle [10] publiée en automne 2019 est arrivée à ce même constat. Sur mandat de l'Office fédéral de l'énergie, les résultats obtenus par OéE ont été examinés pour environ 1400 bâtiments, dont 55 % d'immeubles locatifs, 24 % de biens commerciaux prioritairement administratifs et 21 % de biens à affectation mixte.

### Économies moyennes de 5 %

Une économie moyenne de 5 % de l'énergie finale (avec correction climatique) a été constatée. Il s'est avéré que les économies obtenues pour les biens immobiliers exploités par des tiers restaient plutôt en dessous de la moyenne. Les raisons suivantes ont été avancées:

- La zone de confort des utilisateurs n'a pas été touchée, car aucune intervention n'a eu lieu dans les surfaces d'utilisation.
- Les habitations sont utilisées en permanence et par conséquent, elles ont peu de potentiel d'optimisation de type «fonctionnement sans bénéfice» (voir chapitre 3.10).
- Les mesures OéE interfèrent avec des systèmes de commande ou de régulation, par exemple avec des verrouillages ou libérations manuels effectués par la conciergerie ou encore avec des régulations séparées des locaux telles que les vannes thermostatiques.

Cette étude de large ampleur a également conclu qu'une OéE périodique est recommandée pour l'analyse des défauts et la planification des investissements, destinés aux exploitants et propriétaires.

### Quelle est la contribution d'une OéE au développement durable?

Une OéE contribue de multiples manières à l'exploitation durable d'un bâtiment ou d'un complexe. On peut citer les points suivants:

- Réduction de la consommation d'énergie et donc réduction des émissions associées
- Prolongation de la durée de vie des installations grâce à une exploitation mieux suivie
- Augmentation de la qualité de séjour pour les utilisateurs
- Amélioration de la documentation liée au bâtiment. À son tour, cette démarche augmente la valeur du bien immobilier et facilite l'évaluation de la faisabilité de futurs changements d'affectation.

La surveillance à long terme des installations, au moyen d'un monitoring énergétique approprié, favorise la compréhension des questions liées à la consommation d'énergie par les exploitants.

## 1.10 Bibliographie

- [1] Société suisse des ingénieurs et des architectes: Cahier technique 2048:2015, Optimisation énergétique de l'exploitation, Zurich, 2015
- [2] Modèle de prescriptions des cantons dans le domaine de l'énergie, [www.endk.ch](http://www.endk.ch)
- [3] Office fédéral de l'environnement: Redistribution de la taxe sur le CO<sub>2</sub>, sous [www.bafu.admin.ch](http://www.bafu.admin.ch), consulté en octobre 2019
- [4] Ordonnance fédérale sur la réduction des émissions de CO<sub>2</sub>,
- [5] Loi fédérale sur la réduction des émissions de CO<sub>2</sub>, RS 641.71
- [6] Loi sur l'énergie (LEne), RS 730.0
- [7] Loi sur l'approvisionnement en électricité, RS 734.7
- [8] Conférence des directeurs cantonaux de l'énergie (EnDK): État de la politique énergétique et climatique dans les cantons, sous [www.endk.ch](http://www.endk.ch), consulté en octobre 2019
- [9] Conférence des directeurs cantonaux de l'énergie (EnDK): Aide à l'application pour l'optimisation énergétique de l'exploitation, sous [www.endk.ch](http://www.endk.ch), consulté en octobre 2019
- [10] Bundesamt für Energie: EnBo800, Analyse des Energieverbrauchs und der Wirkung der energetischen Betriebsoptimierung von Gebäuden in der Schweiz, 2019. Download via [www.aramis.admin.ch](http://www.aramis.admin.ch)



# Confort et énergie

## 2.1 Bases physiologiques Puissance métabolique du corps humain

Markus Hubbuch

Afin de maintenir en permanence le métabolisme et les fonctions corporelles vitales telles que la circulation sanguine et la respiration, le corps humain génère une dépense énergétique de base, ou dépense énergétique au repos. Elle s'élève à environ 80 W pour un homme de 70 kg allongé sans bouger. Cette dépense énergétique est considérée comme un équivalent métabolique (1 MET). Pour courir rapidement et s'il est en bonne condition physique, le même homme a besoin d'environ 14 MET, c'est-à-dire 1120 W. Biologiquement parlant, les apports alimentaires sont «brulés à froid». L'oxygène nécessaire est fourni par les poumons, donc la respiration. Ils évacuent également le CO<sub>2</sub> – produit d'oxydation – et l'eau.

La puissance physique en watt qu'une personne peut fournir est d'environ:

$$P = (met - 1) / 0,05$$

Pour une activité de bureau par exemple, la valeur MET s'élève à environ 1,5. Selon l'équation ci-dessus, la puissance physique (mécanique) est ici de 10 W, bien que la dépense alimentaire (pour ainsi dire la performance brute) s'élève à 120 W.

Les 110 watts restants sont transformés en chaleur corporelle transmise à l'air ambiant comme chaleur latente et sensible.

### Bilan thermique du corps humain

L'être humain en tant que «mammifère à sang chaud» est en mesure de maintenir sa température corporelle constante, quelles que soient les conditions de l'environnement. Elle se situe en moyenne à environ 36,5°C. Si elle est plus élevée, cet état est appelé fièvre. Si elle dépasse 42°C, le risque de défaillance du système cardiovasculaire et de mort est réel. Si elle descend en dessous de 27°C, aussi.

Pour cette raison, il est essentiel que la puissance métabolique du corps, présente principalement sous forme de chaleur, puisse être dissipée en permanence vers l'environnement. A cet effet, l'être humain dispose de mécanismes thermorégulateurs gérés par le cerveau intermédiaire (hypothalamus) et de thermorécepteurs (illustration 2.1).

Les «acteurs» intervenant dans la régulation de la température sont notamment la circulation sanguine cutanée, la transpiration (émission de chaleur par vaporisation) et l'activité musculaire (production de chaleur). En outre, le bilan thermique peut être influencé par l'habillement.

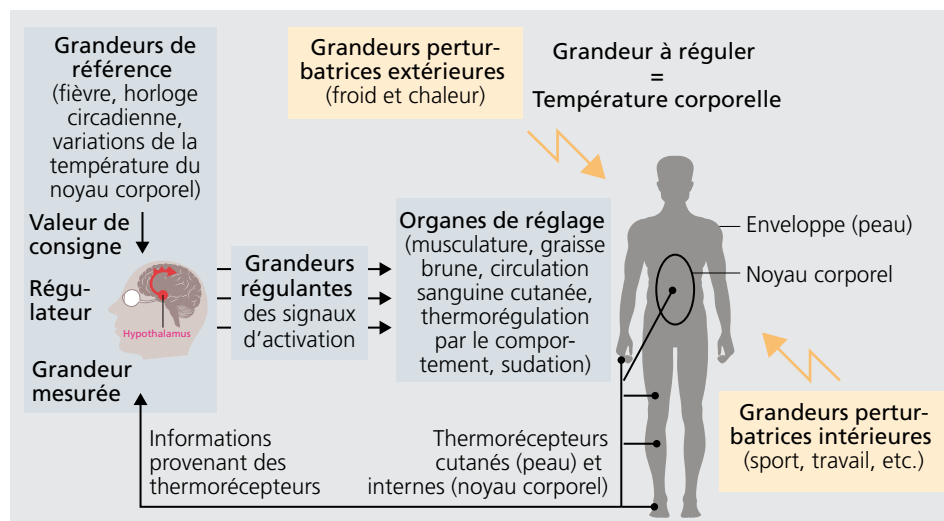


Illustration 2.1: Mécanismes de régulation de la température corporelle de l'être humain. (Source: Heinrich Heine, Uni Düsseldorf)

Les mécanismes de transmission de chaleur des êtres humains à l'environnement sont (illustration 2.2):

- **Convection:** transfert de chaleur de la surface corporelle à l'air ambiant en mouvement
- **Rayonnement de chaleur:** transmission de chaleur de la surface corporelle aux surfaces ambiantes de température moins élevée (ou le contraire)
- **Évaporation:** dégagement de chaleur corporelle nécessaire à l'évaporation cutanée (sudation)
- **Humidification de l'air inspiré:** l'air expiré est quasiment saturé de vapeur d'eau. Pour cette évaporation également, le corps dégage de la chaleur.
- **Conduction de chaleur:** transfert par contact avec les surfaces de température moins élevée (p.ex par les pieds, faible impact)
- **Rejets:** pertes de chaleur à travers l'urine et les selles (faible impact)
- **Nourriture, boissons:** perte de chaleur par ingestion de nourriture et de boissons froides (faible impact)

La température cutanée est toujours moins élevée que la température du noyau corporel, plus une partie du corps est éloignée du centre plus sa température baisse. En outre, la température de la peau est influencée par la température ambiante et l'habillement.

L'être humain perd une quantité variable de chaleur corporelle par convection, rayonne-

ment («chaleur sensible») et sudation («chaleur latente»), ceci en fonction de la température ambiante et de la puissance métabolique. En revanche, le dégagement de chaleur par évaporation pulmonaire ne dépend pas des conditions ambiantes.

Le dégagement de chaleur latente augmente si la température environnante est plus haute et si l'activité physique est plus conséquente (tableau 2.1.). En hiver (lors de températures intérieures de 20 à 22 °C), la plus grande part de chaleur est évacuée par convection et radiation, c'est-à-dire en tant que chaleur sensible ce qui augmente la température ambiante. En été, à une température ambiante de 26 °C, environ la moitié de la chaleur est enlevée par évaporation en tant que chaleur latente. Par conséquent, l'humidité de l'air ambiant augmente à son tour. A partir d'une température de l'air d'environ 30 °C, seule l'évacuation de chaleur par évaporation cutanée reste encore possible. Cela fonctionne bien si l'humidité de l'air est peu élevée, mais fonctionne mal dans le cas contraire ce que nous ressentons comme une atmosphère lourde, voire même tropicale.

Étant donné que l'être humain doit évacuer en permanence la chaleur métabolique produite, un environnement trop chaud et trop humide peut causer la mort en raison d'une température trop élevée du noyau corporel. C'est pourquoi nous pouvons survivre dans un environnement avec une température maximale du bulbe humide de 35 °C. La température du bulbe humide est

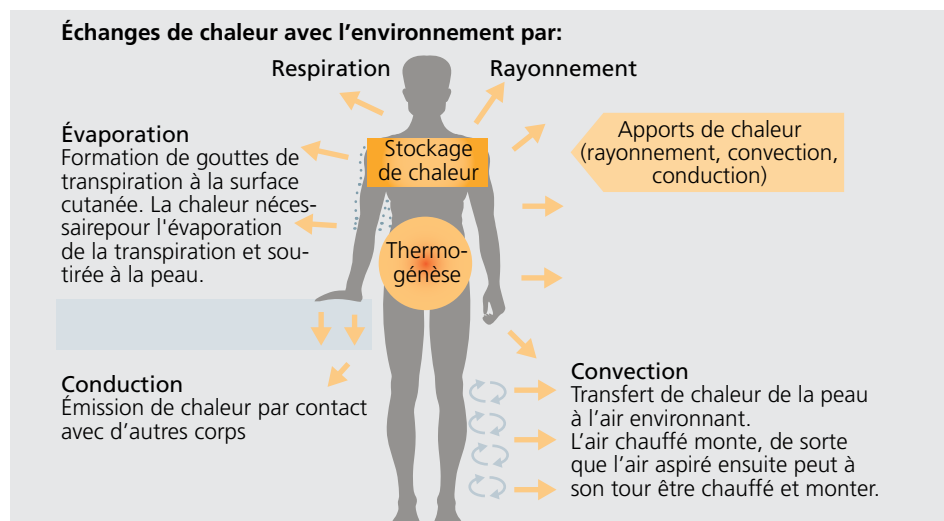


Illustration 2.2:  
Mécanismes des échanges de chaleur chez l'être humain. (Source: Berufsgenossenschaft Holz und Metall)

la température la plus basse pouvant être atteinte par refroidissement adiabatique («refroidissement par évaporation»).

Si la température du bulbe humide dépasse 35 °C, le refroidissement du corps ne fonctionne ni par rayonnement et convection ni par évaporation cutanée (refroidissement adiabatique). Un être humain en bonne santé meurt dans de telles conditions en 6 heures environ. Comme le pronostiquent des chercheurs du MIT et des EPF, ces conditions pourraient se produire dans le futur lors de vagues de chaleur dans certaines régions d'Asie.

En raison de l'échange par rayonnement avec son environnement, l'être humain ne ressent pas la température environnante, mais la moyenne constituée de la température de l'air et de la température moyenne de toutes les surfaces environnantes. Les courants d'air influencent en outre la sensation de chaleur. Ceci en raison du coefficient de transfert de chaleur surfacique par convection qui dépend du flux d'air. Ici, la vitesse de l'air moyenne, mais aussi les turbulences sont déterminantes. De plus, les flux d'air latéraux sont ressentis différemment que les flux d'air frontaux ou dorsaux. Lors de températures ambiantes plutôt basses, un flux d'air entrainera certainement une sensation de froid perçue par davantage de personnes. Lors de températures ambiantes élevées, un courant d'air peut être ressenti comme agréable – le corps pouvant évacuer de la chaleur par convection. Cependant, l'être humain est incapable de différencier au moyen de ses

**Tableau 2.1:**  
*Émissions de chaleur de l'être humain en fonction de la température ambiante. (Valeurs selon VDI 2078)*

Activité	Émission de chaleur	Température ambiante [°C]						
		18	20	22	23	24	25	26
Repos ou travail léger debout (degré d'activité I et II selon DIN 1946-2)	Chaleur totale [W]	125	120	120	120	115	115	115
	Chaleur sensible [W]	100	95	90	85	75	75	70
	Chaleur latente [W]	25	25	30	35	40	40	45
	Émission de vapeur d'eau [g/h]	35	35	40	50	60	60	65
Activité soutenue (degré d'activité III selon DIN 1946-2)	Chaleur totale [W]	190	190	190	190	190	190	190
	Chaleur sensible [W]	125	115	105	100	95	90	85
	Chaleur latente [W]	65	75	85	90	95	100	105
	Émission de vapeur d'eau [g/h]	95	110	125	135	140	145	150
Activité lourde (degré d'activité IV selon DIN 1946-2)	Chaleur totale [W]	270	270	270	270	270	270	270
	Chaleur sensible [W]	155	140	120	115	110	105	95
	Chaleur latente [W]	115	130	150	155	160	165	175
	Émission de vapeur d'eau [g/h]	165	185	215	225	230	240	250

récepteurs s'il évacue de la chaleur par rayonnement ou par convection accrue. Les deux phénomènes sont ressentis comme «courants d'air».

En plus de la convection et du rayonnement, l'humidité de l'air influence la capacité d'évaporation cutanée. C'est pourquoi une humidité élevée est ressentie comme désagréable lors de températures ambiantes élevées.

### Production de CO<sub>2</sub>

L'être humain émet plus ou moins de CO<sub>2</sub> ceci en fonction de la puissance métabolique. La teneur en CO<sub>2</sub> peut ainsi également être utilisée comme indicateur de la qualité de l'air intérieur. Cependant, au sens strict, la teneur en CO<sub>2</sub> est exclusivement un indicateur pour le débit d'air neuf nécessaire (tableau 2.2). Afin d'obtenir une idée complète de la qualité de l'air, il est indispensable d'analyser toutes les autres substances polluantes et odorantes. La teneur en CO<sub>2</sub> est un indicateur pertinent pour la qualité de l'air intérieur uniquement si les occupants sont la cause principale de la pollution de l'air intérieur. Dans ce cas, la meilleure qualité possible de l'air intérieur est de 410 ppm CO<sub>2</sub>. Cette

**Tableau 2.2:**  
*Production de CO<sub>2</sub> et débit d'air neuf minimum par personne.*

Activité	Émission de CO <sub>2</sub> [dm <sup>3</sup> /h]	Débit d'air neuf minimum par personne [m <sup>3</sup> /h]	
		pour 1500 ppm	pour 1200 ppm
En repos	12	10	13
Assis	15	13	17
Travail léger	23	20	26
Travail lourd	35	30	39

valeur correspond à la concentration actuelle de  $\text{CO}_2$  dans l'air extérieur et par conséquent elle ne peut pas être inférieure.

### Influence de l'habillement

L'habillement influence grandement le bilan thermique d'une personne. Il bloque le rayonnement thermique et empêche la convection. Appropriés à la température ambiante et à l'activité physique, les vêtements peuvent ainsi contribuer de manière considérable à la sensation de confort.

L'illustration 2.3. met en évidence le lien entre activité (en met), habillement (en clo) et température ressentie comme optimale par la majorité des personnes. 1 clo correspond à une «tenue de bureau» usuelle, respectivement à la résistance thermique  $R_T$  de  $0,155 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

Les vêtements permettent de pallier aux différences saisonnières de la température ambiante. En hiver, la valeur d'environ 1,2 clo est optimale, tandis qu'en été, elle peut être réduite jusqu'à 0,5 clo. Il en résulte la recommandation sur les températures ambiantes en fonction de la température extérieure selon la norme SIA 180. Aucune réglementation vestimentaire inutilement stricte ne devrait être appliquée sur les lieux de travail. Par ailleurs, en quelques jours, l'être humain est capable de s'adapter de manière limitée à des conditions climatiques changeantes. Ainsi,

lors de températures ambiantes plus basses, il se sent mieux en hiver qu'en été. D'autre part, la température du noyau corporel monte jusqu'à 1 K au cours de la journée. Pour cette raison, des températures ambiantes plus élevées le soir que le matin seraient souhaitables.

### Influence de la sensibilité individuelle

Les femmes ont souvent plus vite froid que les hommes, tout comme les personnes âgées. Cela est dû davantage à une physiologie différente, donc une puissance métabolique différente plutôt qu'au genre.

Les femmes sont généralement plus légères et moins musclées que les hommes. Elles refroidissent donc plus rapidement et produisent moins de chaleur corporelle. Il en va de même pour les personnes âgées. Leur niveau d'activité physique, souvent nettement moins élevé que celui des personnes jeunes, explique les différentes exigences de température.

Étant donné les différences de constitution physique, de puissance métabolique, d'activité physique et de tenue vestimentaire, il y aura toujours une proportion non réductible d'environ 5% des personnes présentes dans un même local qui ressentiront la température comme trop froide, respectivement 5% comme trop chaude, ceci même si celle-ci correspond aux normes.

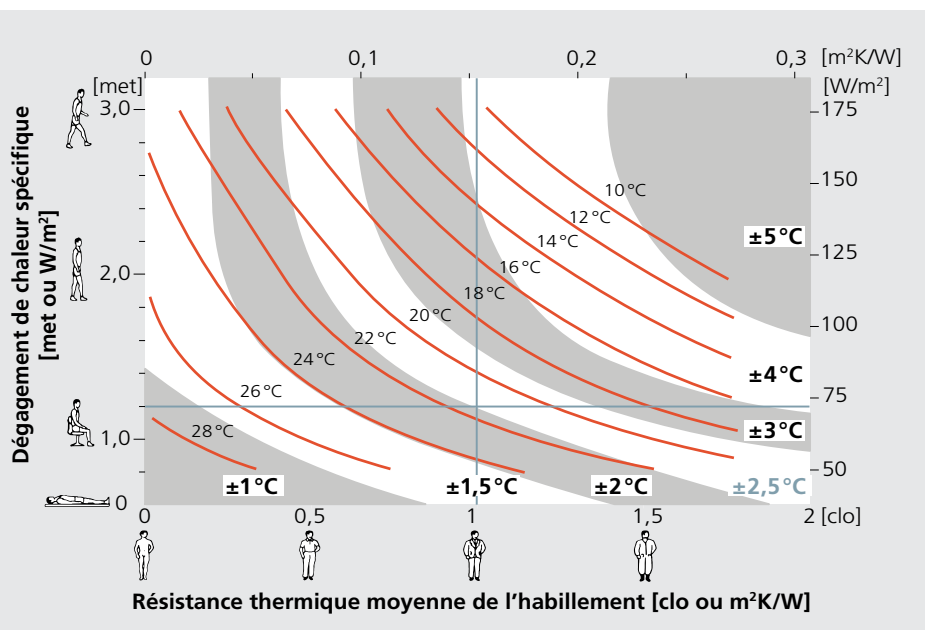


Illustration 2.3:  
Température ambiante optimale en fonction de l'habillement et de l'activité selon ISO 7730.

## 2.2 Conditions cadres de la physique du bâtiment

La physique du bâtiment doit assurer un bon climat intérieur dans les habitations et bureaux en agissant sur tous les aspects qui sont de son ressort. Cela vaut particulièrement pour les domaines confort, niveau faible de polluants et efficacité énergétique. De plus, cette discipline vise à optimiser l'exploitation et la durée de vie d'un bâtiment du point de vue économique et écologique.

La physique du bâtiment se complexifie continuellement en raison des exigences toujours croissantes en matière d'efficacité énergétique, de confort, de protection contre le bruit et de protection de l'environnement. Les standards d'isolation thermique actuels peuvent ainsi engendrer rapidement des dégâts si la construction présente des défauts de physique du bâtiment. La tendance architecturale pour des grandes baies vitrées combinée au réchauffement climatique entraîne des exigences accrues de protection contre la surchauffe estivale et de protection solaire. D'autres aspects de la physique du bâtiment se rapportent à l'utilisation de la lumière du jour, l'acoustique des salles, la protection contre le bruit et la ventilation, notamment la ventilation naturelle.

### Fonction du bâtiment

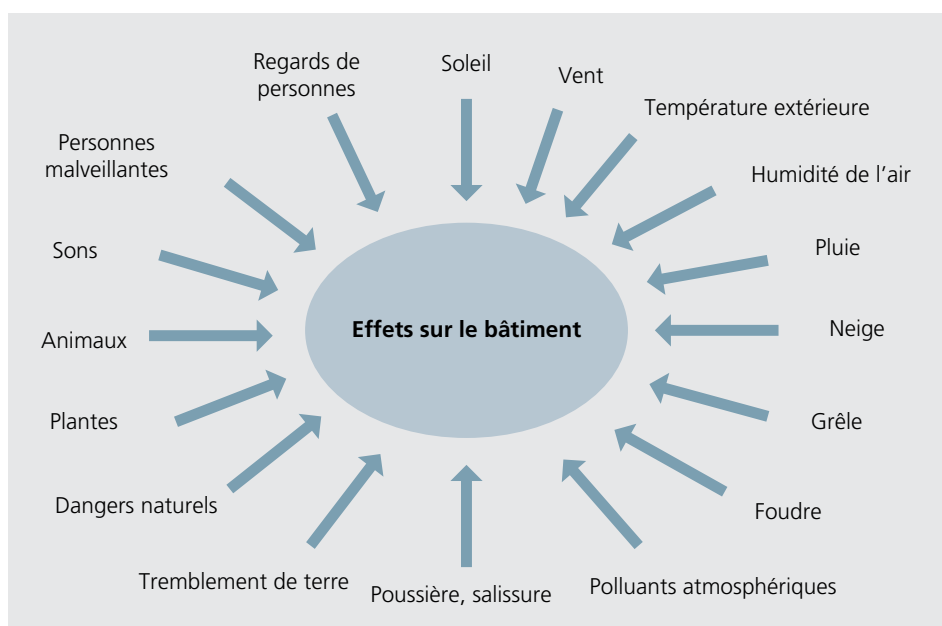
La tâche principale d'un bâtiment est de fournir des espaces intérieurs protégés des influences extérieures indésirables (illustration 2.4). Ces espaces intérieurs doivent permettre une utilisation déterminée, par exemple habiter, travailler, produire.

Sur le plan des besoins en énergie, la mise en place d'un bon climat intérieur est prépondérante. Parmi les points essentiels, on peut citer:

- Une température ambiante appropriée en été et en hiver
- Une humidité de l'air ambiant dans des limites définies
- Une ventilation naturelle et artificielle
- Un éclairage naturel et artificiel

Idéalement, la physique du bâtiment garantirait un climat intérieur optimal pendant toute l'année et sans apport d'énergie supplémentaire par des installations techniques. Mais en pratique, ce n'est possible qu'en partie. Néanmoins, quelques exemples de bâtiments particulièrement bien planifiés démontrent qu'un mode de construction optimisé par rapport à la physique du bâtiment peut se rapprocher de manière remarquable de cet objectif.

De nos jours, pour des bâtiments de bureau d'ores et déjà réalisés, le concept de physique du bâtiment a permis de se passer de tout chauffage, refroidissement et



*Illustration 2.4: Quelques facteurs externes qui agissent sur le bâtiment.*

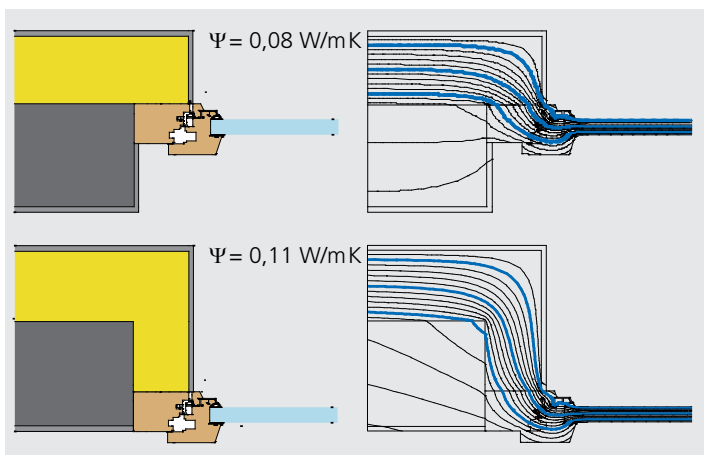
ventilation mécanique. Avec une occupation usuelle et sans densité excessive des places de travail, il est possible de maintenir la température ambiante entre 22 et 26°C pendant toute l'année. La qualité de l'air intérieur est assurée par des fenêtres avec ouverture automatique.

### Physique du bâtiment de l'enveloppe

Les performances de physique du bâtiment de l'enveloppe sont particulièrement importantes. Certaines exigences essentielles sont définies par la norme SIA 180 (2014). De façon générale, il faut être attentif à réaliser une enveloppe thermique compacte et ininterrompue. Les paramètres suivants sont importants:

La valeur U (coefficient de transmission thermique) est la mesure des déperditions thermiques par transmission. Les valeurs U de tous les éléments de construction opaques contre l'extérieur constituant l'enveloppe thermique du bâtiment (périmètre d'isolation) devraient être inférieures à 0,2 W/m<sup>2</sup>K. Les non-homogénéités et les ponts thermiques inévitables doivent être pris en compte dans le calcul. Les valeurs U inférieures à 0,1 W/m<sup>2</sup>K sont en général peu judicieuses, car au-delà de cette valeur le potentiel d'économie supplémentaire est faible. Les fenêtres et les portes ainsi que les autres éléments de construction translucides éventuels devraient avoir une valeur U inférieure à 1 W/m<sup>2</sup>K. Ils doivent être mesurés ou calculés dans leur globalité, et non sur le vitrage seulement.

**Illustration 2.5:**  
A titre d'exemple:  
position de fenêtre  
avec réduction des  
ponts thermiques.  
(Source: EnDK)



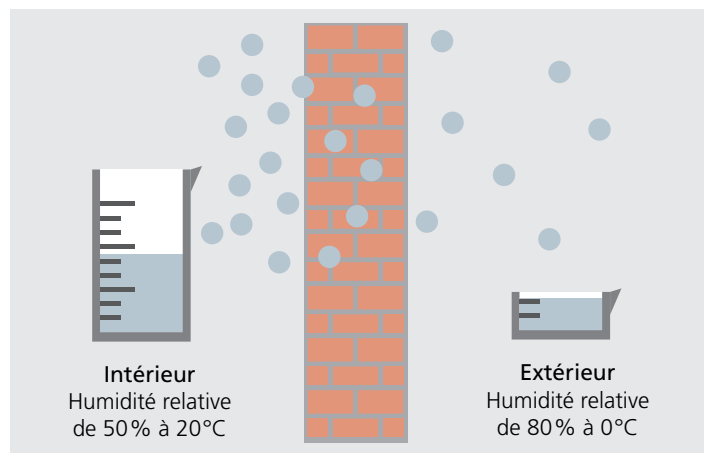
Les éléments de construction contre terre ou contre des locaux non chauffés peuvent avoir des valeurs U un peu plus élevées. Il s'agit d'optimiser l'ensemble au moyen de calculs dans les règles de l'art.

Une attention toute particulière doit être accordée à la réduction des ponts thermiques (illustration 2.5). Ils peuvent non seulement augmenter les déperditions thermiques, mais encore provoquer des dégâts liés à l'apparition de condensation. Le catalogue des ponts thermiques de SuisseEnergie facilite la détermination des indices des ponts thermiques (valeur  $\psi$  en W/mK) [1]. Une autre solution consiste à calculer les flux thermiques tridimensionnels traversant les éléments de construction à l'aide de logiciels.

Pour les constructions nouvelles, les transformations ou les assainissements soumis à une autorisation, les autorités demandent de justifier la mise en œuvre d'une isolation thermique qui correspond aux lois cantonales. Les exigences légales se basent généralement sur le Modèle de prescriptions énergétiques des cantons (MoPEC). Elles sont harmonisées avec les exigences de la SIA 380/1 et s'approchent souvent de nos jours d'une isolation optimale.

Il peut être judicieux d'isoler davantage que les exigences fixées dans les prescriptions. Cela réduit non seulement la consommation d'énergie de chauffage, mais permet aussi de simplifier les installations techniques pour le chauffage, de les combiner avec d'autres éléments du bâtiment ou même de les supprimer complètement.

**Illustration 2.6:**  
La différence de  
pression partielle de  
vapeur d'eau entre  
l'intérieur et l'exté-  
rieur est à l'origine  
de la diffusion de  
vapeur dans la pa-  
roi.



### Diffusion de vapeur

Pour éviter la condensation, il s'agit tout d'abord de construire sans ponts thermiques. De plus, il faut empêcher en hiver que l'humidité provenant des locaux intérieurs et diffusée dans les murs (illustration 2.6) provoque des problèmes. C'est le cas si l'humidité absorbée en été ne peut pas être complètement restituée. Les types de parois et de murs dont la résistance à la diffusion de vapeur diminue de l'intérieur vers l'extérieur sont les plus adaptés. S'il n'est pas possible d'éviter des éléments de construction peu perméables à la vapeur du côté extérieur, alors il faut diminuer la diffusion d'humidité avec des pare-vapeur ou des barrières vapeur côté intérieur.

### Condensation, moisissures

La condensation se produit sur des surfaces plus froides que la température du point de rosée de l'air ambiant (illustration 2.7). Il en résulte des éléments de construction avec des surfaces humides, ce qui peut à son tour provoquer une décoloration, une détérioration des matériaux ou des moisissures.

Les moisissures ne représentent pas seulement un problème esthétique, elles peuvent également engendrer des maladies. Pour cette raison, il faudrait éviter en hiver une humidité relative ambiante supérieure à 50%. En cas de bâtiments étanches, il faut aérer plus souvent le cas échéant.

*Illustration 2.7:*  
La condensation sur les bords du vitrage est un signal d'alerte pour une humidité intérieure trop élevée. (Photo: Christoph Gross/stock.adobe.com)



### Évacuation de chaleur en été

Les valeurs U basses contribuent à réduire les besoins en refroidissement seulement lors de journées extraordinairement chaudes. Par contre, elles empêchent toujours le flux thermique vers l'extérieur (ce qui est leur raison d'être). Subsistent ainsi les apports solaires à travers les fenêtres et les charges thermiques internes qui peuvent être à l'origine de températures intérieures élevées et désagréables dans l'entre-saison et en été. Pour chaque bâtiment bien isolé, il est donc impératif d'élaborer un concept pour évacuer la chaleur.

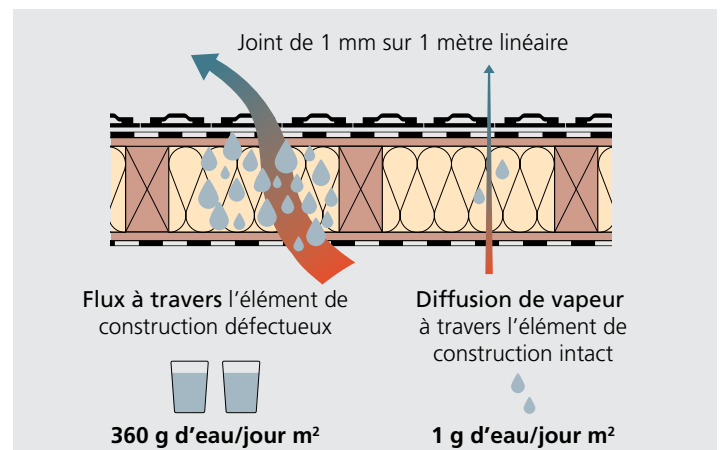
### Étanchéité à l'air

Afin de minimiser les déperditions non seulement par transmission, mais aussi par ventilation, l'enveloppe du bâtiment doit être étanche. Par temps froid ou venteux, les joints aux raccords entre différents éléments de construction ainsi que les fenêtres et portes insuffisamment étanches conduisent à des échanges d'air non contrôlés. Il en résulte des déperditions thermiques et souvent un air intérieur trop sec.

Afin de réduire les échanges d'air non contrôlés, il peut être judicieux de combiner les mesures d'étanchéification de l'enveloppe du bâtiment avec des mesures réduisant l'effet de cheminée entre les étages.

Un autre problème des points non étanches dans les éléments de construction est la migration de l'humidité par convection. Si l'air intérieur s'échappe par des joints dans les éléments de construction il va se refroidir et la condensation de quantités non négligeables d'eau peut se produire en

*Illustration 2.8:*  
Migration de l'humidité par convection au niveau des joints.



hiver. Cela peut rapidement provoquer des dégâts (illustration 2.8). L'étanchéité à l'air d'un bâtiment peut être mesurée avec la méthode blower-door (illustration 2.9).

### Étanchéité à la pluie

Les bâtiments doivent aussi être tanches à la pluie. L'étanchéité à la pluie des fenêtres et des portes, y compris leurs cadres et raccords, est essentielle, surtout en cas de forte pluie chassée par le vent. L'écoulement des eaux doit également être assuré lors de fortes précipitations, notamment sur les toits plats et les places d'accès.

### Protection contre le bruit

Le calcul et le mesurage des valeurs d'affaiblissement acoustique d'éléments de construction font aussi partie de la physique du bâtiment. Une bonne isolation phonique entre étages, appartements et locaux devient de plus en plus importante comme critère de qualité. Il en est de même pour l'isolation phonique contre l'extérieur dans les zones exposées au bruit. Selon les cas, l'isolation thermique et phonique peut être évaluée de manière commune. Les exigences sont déterminées et justifiées à l'aide de la norme SIA 181 (2006).

### Bruit des installations techniques

Les installations techniques peuvent être source de toutes sortes de bruits. Les bruits typiques sont les bruits de moteurs, de flux dans les conduites ou de commandes des

appareils. Ces problèmes peuvent être réduits par une planification professionnelle, un choix pertinent des composants et un montage judicieux. Les exigences sont déterminées à l'aide de la norme SIA 181. La planification et l'exécution des installations de ventilation doivent garantir en particulier qu'aucun problème de bruit dérangeant n'apparaisse.

### Acoustique des salles

L'acoustique des salles évalue la propagation, l'absorption et la qualité acoustique des sons dans les locaux. Elle vise par exemple à atteindre un bas niveau sonore dans les espaces sensibles tels que les chambres à coucher. Elle assure également une bonne audibilité de la parole dans une salle de conférence et une bonne qualité d'écoute dans une salle de concert. Les moyens pour y parvenir sont les surfaces d'absorption acoustique.

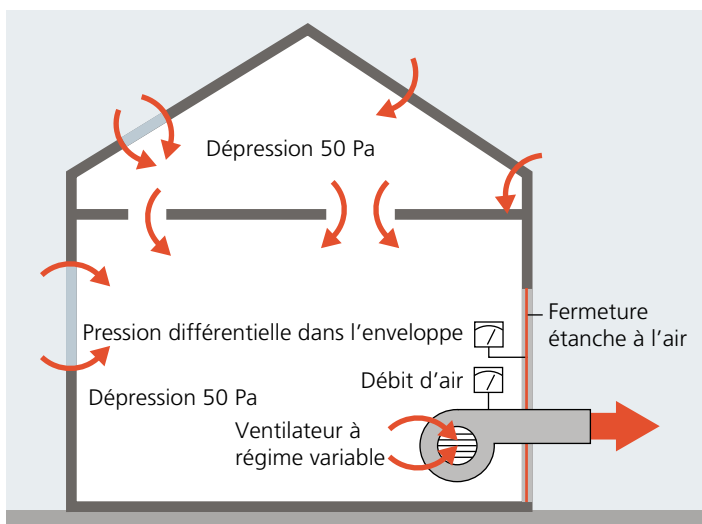
Attention: L'activation de l'inertie thermique des murs et plafonds est influencée par les matériaux insonorisants qui y sont appliqués. L'inertie thermique du local est ainsi plus basse ce qui amène à des variations de température plus importantes. Notamment en été, il peut en résulter un climat intérieur désagréable, car les températures maximales sont plus élevées.

### Planification des fenêtres et de la lumière naturelle

Disposition, grandeur et type du vitrage des fenêtres influencent le confort thermique d'un local de manière déterminante, tout comme les besoins en chauffage et en refroidissement, la distribution de la lumière du jour et la vue sur l'extérieur.

Les façades complètement vitrées sont défavorables d'un point de vue énergétique. La conséquence est un apport thermique élevé en été. En hiver, elles amènent temporairement des apports thermiques passifs importants et causent des déperditions par transmission plus élevées. Pour les bâtiments artisanaux standard, un taux de surface de fenêtres d'environ 50 % par rapport à la surface de façade est optimal. Pour profiter des apports de lumière naturelle, les fenêtres devraient toujours aller

Illustration 2.9:  
Schéma de mesure  
blower-door.





jusqu'au plafond. Un vitrage allant jusqu'au plancher a moins d'effet. Il faudrait choisir des vitrages avec un taux de transmission de la lumière naturelle  $\tau$  élevé et des fenêtres avec une faible part de cadres.

Les fenêtres de grande taille et orientées au sud sont favorables pour les bâtiments d'habitation. Pour les bâtiments commerciaux, les fenêtres est et ouest devraient être petites pour éviter les apports thermiques externes trop élevés en été, de plus elles sont difficiles à protéger du soleil. Pour les bâtiments administratifs, les vitrages et fenêtres d'angle devraient être évités, ils créent des conditions de climat intérieur difficiles à contrôler et des éblouissements (illustration 2.10).

### Protection solaire

Une protection solaire extérieure, mobile et ventilée est nécessaire pour toutes les fenêtres (également les fenêtres nord). Lorsque la protection solaire est activée, les fenêtres sud, est et ouest devraient atteindre des valeurs  $g$  inférieures à 0,15. Le détail des exigences est disponible dans la norme SIA 180 (2014) à la figure 12 [2]. La protection solaire devrait avoir une résistance au vent suffisante. Les stores à lamelles orientables ont largement fait leur preuve du point de vue de l'efficacité énergétique et du confort. Ils peuvent non seulement être baissés ou montés – de plus, en inclinant les lamelles l'incidence et la répartition de la lumière dans le local peuvent être influencées. Il est ainsi possible de protéger les façades sud du soleil sans bloquer la vue sur l'extérieur et sans oblitérer l'utilisation de la lumière du jour.

Les stores à commande automatique devraient changer de position quelques fois par jour. La solution optimale consiste à positionner les stores correctement le matin, à midi et le soir. Toute autre gestion n'est pas acceptée par les utilisateurs des locaux. Si cette consigne n'est pas respectée, il faut s'attendre à des utilisateurs insatisfaits qui contournent manuellement le système automatique ou encore qui le mettent complètement hors service.

La commande des stores devrait être connectée à la régulation de l'installation de chauffage et le cas échéant de ventilation. Elle ne doit activer les stores qu'en cas de risque réel de surchauffe. Elle ne doit donc pas compromettre le solaire passif en hiver. Les commandes qui ne font que baisser obstinément les stores dès qu'un certain niveau de rayonnement est dépassé ne sont pas utiles.

Les stores extérieurs sont souvent utilisés à mauvais escient comme protection contre l'éblouissement. Pourtant, une commande de stores ne peut pas détecter si les utilisateurs souhaitent une protection contre l'éblouissement, le regard extérieur ou encore un obscurcissement. Cela rend les utilisateurs également insatisfaits. En complément des stores extérieurs, il est préférable d'installer une protection contre l'éblouissement intérieure, à régler manuellement (illustration 2.11). Dans ce cas, les stores extérieurs protègent uniquement contre un apport solaire excessif et ne sont pas utilisés en hiver.

*Illustration 2.10:*  
*Taux de surface de*  
*fenêtre équilibré*  
*pour un centre de*  
*développement.*  
*(Photo: Dietmar*  
*Strauss, Besigheim)*



*Illustration 2.11:*  
*Store à lamelles ex-*  
*térieur combiné*  
*avec une protection*  
*contre l'éblouisse-*  
*ment intérieur.*  
*(Photo:*  
*M. Hubbuch)*



### Influences de l'humidité

Comme indiqué plus haut, l'humidité relative de l'air intérieur devrait se situer dans certaines limites. Elle ne devrait pas être trop élevée en été pour éviter une sensation d'atmosphère lourde et ne pas altérer la dissipation de chaleur par sudation. Une humidité relative supérieure à 65 % n'est plus ressentie comme confortable. L'air extérieur chaud et humide, refroidi par une climatisation et peu déshumidifié, peut aboutir à un tel climat intérieur.

En hiver, notamment avec un taux de renouvellement d'air trop important, l'air ambiant peut devenir très sec. Si l'humidité relative passe en dessous de 30 %, l'air est ressenti comme trop sec. Afin de maintenir l'humidité relative dans la zone de confort, il faudrait non pas utiliser une humidification énergivore, coûteuse et problématique du point de vue hygiénique, mais plutôt réduire le taux de renouvellement d'air extérieur. Pour éviter l'accumulation de substances problématiques et de poussières dans l'air ambiant, les locaux doivent être construits et équipés correctement du point de vue de l'écologie du bâtiment.

### Ventilation

Pour une bonne qualité de l'air intérieur, un renouvellement d'air optimal est indispensable. Les bâtiments récents doivent être étanches et dès lors avoir un concept de ventilation. En principe, il est possible d'obtenir un air intérieur de qualité avec une ventilation manuelle ou automatique par les fenêtres ou clapets de ventilation. Les installations de ventilation mécanique avec récupération de chaleur ou utilisation

des rejets de chaleur de l'air extrait sont énergétiquement plus judicieuses.

Cependant, les ventilations mécaniques mal réglées peuvent déboucher sur un air ambiant trop sec en raison d'un renouvellement d'air trop conséquent. Voilà pourquoi le taux de renouvellement d'air des ventilations d'habitations et de bureaux ne doit pas être trop élevé. Les systèmes régulés en fonction des besoins sont les plus favorables.

Les clapets de ventilation situés à côté des fenêtres (illustration 2.12) sont une bonne alternative aux fenêtres basculantes. Ils peuvent rester ouverts même en cas de pluie ou en été pendant la nuit, sans risque de pénétration de pluie ou d'êtres vivants. Cela permet une ventilation naturelle évitant des températures trop élevées.

Le choix judicieux des matériaux de second œuvre, de l'aménagement intérieur et le mobilier sont tout aussi décisifs pour la qualité de l'air intérieur. Seuls les matériaux naturels ou écologiquement compatibles devraient être choisis. En aucun cas, ils ne doivent libérer des solvants, additifs chimiques ou autres substances dans l'air ambiant.

### Accumuler la chaleur et l'humidité

Les éléments de construction pouvant accumuler beaucoup de chaleur sont favorables au climat intérieur. Ils contribuent à écrêter la température ambiante, ceci lors de périodes froides ou chaudes, mais aussi lors d'utilisations temporairement intensives des locaux. Par ailleurs, les capacités d'accumulation sont favorables aux apports solaires passifs. Pour que cela fonctionne, des éléments de construction massifs tels que plancher, plafond ou paroi, doivent être en contact direct avec l'air ambiant. Les tapis, faux-planchers, faux-plafonds ou revêtements d'absorption phonique rendent les masses thermiques inopérantes.

Ce principe vaut aussi pour l'humidité de l'air ambiant: les matériaux absorbant l'humidité en contact direct avec l'air ambiant permettent d'écrêter les variations. Les plaques de plâtre ou les enduits à l'argile sont à ce titre des bons régulateurs hygrométriques.

*Illustration 2.12:  
Le bâtiment 2226 à  
Lustenau du bureau  
d'architecte  
Baumschlager  
Eberle Architekten.  
Fenêtres avec cla-  
pets de ventilation  
latéraux. (Photo:  
archphoto.inc)*



## 2.3 Exigences de confort et consommation d'énergie

### Confort ambiant

Les gens ont des exigences très différentes en termes de confort d'un local. Par conséquent, il ne sera jamais possible de satisfaire pleinement tout le monde: en fait, il faut toujours s'attendre à environ 5 à 10 % de personnes insatisfaites.

Des exigences sur le climat intérieur liées à l'utilisation du local ou à la production peuvent s'ajouter aux exigences de confort des personnes. Celles-ci ne sont pas traitées ici.

Les exigences de confort énergétiquement significatives sont en lien avec:

- La température ambiante ressentie
- L'éclairage et le confort visuel
- La qualité de l'air intérieur en termes d'odeurs et de polluants
- Les déplacements d'air intérieur
- L'humidité relative de l'air
- L'acoustique des salles en matière de niveaux acoustiques et de bruits
- La consommation d'eau chaude

### Température ambiante en hiver

En hiver, la température ambiante doit généralement être maintenue au niveau requis par le chauffage. Les exigences en matière de température ambiante ont augmenté avec le temps. 20 °C sont largement ressentis comme inconfortables. De nos jours, c'est plutôt 23 °C ou plus qui sont exigés. Dès lors, des températures ambiantes de 21 °C à 23 °C devraient être prévues pour les habitations, les salles de classe et les bureaux.

Environ 6 % d'énergie supplémentaire pour le chauffage sont nécessaires par degré de température ambiante. Pour les bâtiments bien isolés, ce pourcentage est encore plus élevé. En termes de confort, une couche de vêtement plus isolante (valeur clo plus élevée) permet de compenser une température ambiante plus basse. La température de surface des parois du local influence aussi la sensation de confort de manière considérable. Si les murs extérieurs et les fenêtres sont bien isolés, ils restent relativement chauds en hiver. Le

fait qu'un espace avec des températures de surface élevées soit ressenti comme plus chaud qu'un espace avec des surfaces froides permet de réduire la température ambiante en hiver. Ainsi, non seulement des économies d'énergie sont réalisées, mais en sus on réduit le dessèchement de l'air ambiant.

### Température ambiante en été

En été, il est parfois nécessaire de refroidir mécaniquement, ce qui consomme de l'électricité. Plus la température ambiante visée est basse, plus la consommation d'énergie est élevée. Rien que pour cette raison, il est recommandé de ne pas refroidir en dessous de 25 °C. La plupart des personnes ressentent même 26 °C comme agréables – à condition de (pouvoir) porter des vêtements d'été.

Le besoin en énergie dépend fortement du concept de refroidissement. Refroidir au moyen de plafonds refroidissants, en combinaison avec un taux de renouvellement d'air peu élevé et des fenêtres munies d'une bonne protection solaire, consomme moins d'énergie comparé à un système de refroidissement fonctionnant seulement au moyen de l'air. La génération de froid par refroidissement naturel au moyen de cours d'eau ou de la nappe phréatique, de pieux énergétiques ou de sondes géothermiques consomme peu d'électricité.

De nombreuses installations de climatisation conventionnelles sont de vrais gouffres à énergie. Dans ce domaine, chaque degré de température ambiante supplémentaire permet d'économiser énormément d'énergie.

### Éclairage

Pour les salles de classe et les bureaux utilisés de façon standard, un éclairage lumineux (valeur lux mesurée à l'horizontale) de 500 lx a fait ses preuves. Les personnes âgées en particulier demandent souvent plus de lumière. Un éclairage plus élevé est également exigé lorsque le confort visuel est médiocre, c'est-à-dire quand il y a de grandes différences de luminance dans le champ de vision d'une personne.

Si l'éclairage est modifié, la consommation électrique suit linéairement. Les éclairages moins élevés permettent une proportion plus grande de lumière naturelle et ainsi des économies d'énergie supplémentaires. En termes de lumière naturelle, la plupart des gens acceptent des éclairages inférieurs à 500 lx.

Une commande qui éteint ou régule la lumière artificielle dès que 500 lx sont atteints économise au mieux l'électricité. Si l'éclairage passe de nouveau en dessous de cette valeur, les utilisateurs doivent rallumer manuellement la lumière artificielle.

Les lampes LED consomment très peu d'énergie. Elles peuvent déployer leurs atouts surtout lorsque le confort visuel de base est réalisé. Cela signifie, entre autres, que les places de travail sont disposées correctement (perpendiculairement à la fenêtre) et équipées d'une protection intérieure contre l'éblouissement.

### Qualité de l'air

Une bonne qualité de l'air intérieur peut presque toujours être obtenue à l'aide d'un taux de renouvellement d'air élevé. Ce renouvellement consomme beaucoup d'énergie, lorsque l'air fourni doit être chauffé en hiver – en particulier pour une ventilation naturelle ou si la récupération de chaleur ne fonctionne pas efficacement. En été, le cas échéant, le refroidissement et la déshumidification de l'air neuf consomment de l'énergie supplémentaire. De plus, les taux de renouvellement d'air élevés assèchent l'air en hiver et amènent parfois à une consommation d'énergie supplémentaire pour l'humidification.

A condition que les matériaux de construction et l'aménagement intérieurs n'émettent pas de substances indésirables ou nocives, un taux entre 25 m<sup>3</sup>/h et 35 m<sup>3</sup>/h par personne est suffisant pour les appartements et les bureaux.

### Déplacements d'air

Selon la température ambiante, l'activité et l'habillement, les utilisateurs ressentent différemment les déplacements d'air («courants d'air»). À des températures ambiantes

inférieures à 23°C environ, les déplacements d'air au-dessus de 0,15 m/s sont ressentis comme désagréables surtout s'ils sont latéraux ou s'ils ont des turbulences. À des températures ambiantes supérieures à 25°C environ, les déplacements d'air sont en général ressentis comme agréables, car ils favorisent la dissipation de chaleur des personnes.

Afin de réduire une altération du confort en raison de déplacements d'air trop élevés, éviter les diffuseurs à déplacement d'air proches des places assises et les dimensionner suffisamment grands. En cas de charge frigorifique importante, il est possible de prévoir une ventilation par mélange et des diffuseurs hélicoïdaux. Les plafonds refroidissants ou les éléments de construction thermo-actifs sont énergétiquement plus efficaces. Ils permettent un bon confort ainsi qu'un air intérieur de qualité déjà à partir d'un taux bas de renouvellement d'air.

L'être humain est incapable de différencier si une altération du confort est causée par des flux d'air ou des surfaces froides. Les surfaces froides des fenêtres en particulier sont ressenties comme désagréables, car elles provoquent des déperditions de chaleur par rayonnement. Cela justifie de clarifier en détail les raisons des réclamations, en particulier pendant la saison froide.

### Humidité relative de l'air

Comme mentionné précédemment, d'un point de vue physiologique le taux d'humidité relative optimal de l'air est égale ou supérieure à 30 % en hiver. Pour un laps de temps court, cette valeur peut être inférieure. Afin de prévenir les problèmes liés à la condensation, il doit rester toutefois inférieur à 50 %.

Si une humidification active est inévitable, une humidité relative de l'air ne devrait pas dépasser 45 % – sinon l'énergie est gaspillée. Le mieux est dans tous les cas de maintenir les émissions de polluants aussi bas que possible et par là même limiter les débits d'air neuf. Ainsi, l'air se dessèche moins.

Pour les installations de ventilation, les échangeurs enthalpiques qui récupèrent l'humidité en plus de la chaleur peuvent être favorables. Étant donné l'impossibilité de récupérer toute l'humidité contenue dans l'air extrait, ils sont judicieux surtout si le taux de renouvellement d'air peut être maintenu bas. En effet, il est finalement impossible de récupérer l'humidité qui n'est plus présente.

D'un point de vue médical, il est difficile de démontrer que des taux bas d'humidité de l'air nuisent à la santé. Cependant, des troubles peuvent apparaître chez des personnes sensibles si l'humidité de l'air est largement en dessous de 30% pendant un temps prolongé. À l'inverse, il est prouvé que les moisissures résultant d'un taux d'humidité trop élevé provoquent des maladies. Les humidificateurs de toutes sortes représentent aussi des risques pour la santé surtout s'ils sont insuffisamment entretenus. Ils peuvent alors devenir des cultures de germes et de moisissures qui sont inhalés ensuite avec l'air ambiant.

En été, surtout par temps lourd, les utilisateurs peuvent souhaiter une déshumidification. Le refroidissement à l'aide d'air froid généré par des fluides frigorigènes à basses températures consomme beaucoup d'énergie. Explication: Lors de la déshumidification, c'est non seulement la chaleur sensible, mais encore la chaleur de condensation de la vapeur d'eau qui doivent être évacuées. Par ailleurs, l'efficacité des machines frigorifiques diminue parallèlement à l'abaissement de la température côté froid. De plus, les basses températures dans le réseau de froid réduisent les possibilités de refroidissements naturels.

Pour toutes ces raisons, il faudrait renoncer si possible à la déshumidification mécanique. De manière concrète: pour refroidir l'air extérieur, les températures dans le réseau d'eau glacée ne devraient pas être inférieures à 10°C/16°C voire 12°C/18°C. C'est aussi un moyen qui permet d'écarter les pics d'humidité et assurer un confort acceptable. De plus, ces températures permettent un refroidissement par plafonds refroidissants.

### **Acoustique des salles et niveau acoustique**

Très répandus de nos jours, les bureaux et espaces de travail paysagers nécessitent une acoustique des salles appropriée. Elle doit créer un environnement qui permette aux collaborateurs de travailler de manière efficace.

Des surfaces insonorisantes suffisantes sont un bon moyen de maîtriser l'acoustique dans ce type d'espace. Afin d'éviter que ces surfaces d'absorption acoustique ne rendent les éléments de construction massifs inopérants, une planification soignée est indispensable pour l'acoustique et l'agencement intérieur. Les tapis sans support en mousse et conduisant bien la chaleur sont recommandés. Les surfaces d'absorption acoustique sur les meubles et les cloisons de séparation sont adaptées, tout comme les éléments acoustiques aux plafonds conduisant bien la chaleur.

Les plafonds refroidissants et chauffants acoustiquement efficaces sont une très bonne solution. Ils combinent de manière économe et efficace chauffage, refroidissement et insonorisation et assurent un confort élevé. Cette solution, appelée également refroidissement statique, baisse de surcroît la consommation d'énergie de ventilation qui doit alors uniquement assurer un renouvellement d'air minimal nécessaire à l'hygiène.

### **Consommation d'eau chaude sanitaire**

La consommation d'eau chaude sanitaire dépend énormément des exigences et habitudes des utilisateurs. Elle peut être réduite de manière simple et sans altération du confort au moyen de robinetteries économes en eau pour lavabos et pommeaux de douche. Laver la vaisselle dans un lave-vaisselle au lieu de la laver à la main économe non seulement de l'eau et de l'énergie, mais augmente aussi le confort. Pour les lave-mains des toilettes, il est possible de renoncer complètement à l'eau chaude. L'altération du confort est faible, l'hygiène est même assurée de façon simplifiée.

## 2.4 Bibliographie

- [1] Office fédéral de l'énergie OFEN:  
Catalogue des ponts thermiques.  
[www.bundespublikationen.admin.ch](http://www.bundespublikationen.admin.ch)
- [2] Société suisse des ingénieurs et des  
architectes: Norme SIA 180:2014  
Protection thermique, protection  
contre l'humidité et climat intérieur  
dans les bâtiments – Questions fré-  
quentes et Réponses, Zurich 2017

# Installations et systèmes

**Björn Schrader**

## 3.1 Éclairage

Dans le domaine de l'éclairage, l'OéE ne devrait pas se limiter à l'éclairage artificiel. En effet, l'utilisation de la lumière du jour est étroitement liée à la protection contre la surchauffe estivale et à l'utilisation des apports solaires. Pour ces raisons, l'approche doit être globale. Il faut préciser que les installations d'éclairage artificiel font souvent partie de la structure tertiaire du bâtiment. Elles sont donc remplacées bien avant les éléments de construction de la structure primaire ou secondaire. Les installations d'éclairage artificiel offrent ainsi des solutions simples en termes d'OéE.

### Contexte

La part de l'éclairage à la consommation d'électricité en Suisse représente 12 % ce qui met en évidence son importance. Dans le secteur tertiaire, ce pourcentage représente même plus du double (illustration 3.1). Depuis 2015, la technologie LED a remplacé presque complètement les ampoules existantes sur le marché, en raison de leur efficacité énergétique nettement plus élevée. Une lampe LED consomme actuellement moins de 15 % de l'énergie consommée par une lampe à incandescence.

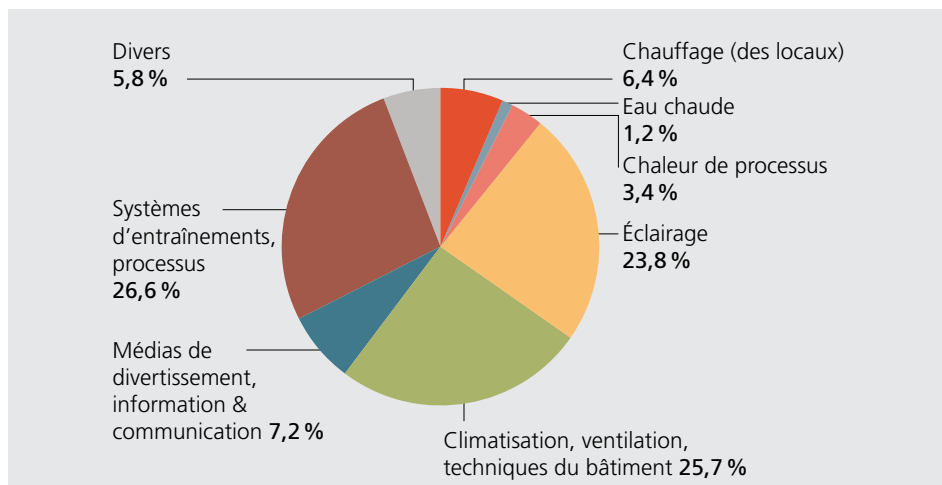
### Relevé de l'éclairage artificiel

Avant l'OéE proprement dit, il faut faire un relevé des zones à optimiser. Le relevé doit indiquer d'une part le nombre de luminaires et les puissances du système par zone (puissance des luminaires et dispositif de fonctionnement). D'autre part, il faut impérativement mesurer l'éclairement et le comparer aux exigences de la norme suisse SN EN 12464-1. Ces valeurs sont référencées dans le cahier technique SIA 2024 et la norme SIA 387/4.

Comme la planification de l'éclairage date souvent de plusieurs décennies, il arrive fréquemment que les installations soient en partie sous ou surdimensionnées. Si les luminaires sont alors remplacés 1:1, il en résulte une installation non conforme ou inefficace. En outre, il s'agit de vérifier si l'affectation des locaux a changé au cours du temps.

Un calcul de l'éclairage est indispensable dans le cadre d'une OéE. C'est le seul moyen pour contrôler le respect de toutes les exigences qualitatives et quantitatives. Les exigences suivantes sont déterminantes et font partie de la norme:

- Niveau d'éclairement
- Éblouissement
- Uniformité du niveau d'éclairement dans le local
- Température des couleurs
- Rendu des couleurs



*Illustration 3.1: Consommation d'électricité par affectation dans le secteur tertiaire suisse en 2017. (Source: OFEN 2018)*

### Détermination de la consommation d'électricité

La consommation d'énergie et l'efficacité de l'installation déterminent si une zone est significative pour une OéE ou non. La consommation d'électricité par local ou zone est calculée à partir de la puissance de raccordement de tous les luminaires et de leur durée de fonctionnement annuel.

$$E = P \cdot \Delta t$$

$E$  Énergie

$P$  Puissance

$\Delta t$  Temps

Le nombre d'heures de fonctionnement annuel devrait être déterminé spécifiquement par zone d'utilisation. Si cela n'est pas possible, le cahier technique SIA 2024 et la norme SIA 387/4 contiennent des valeurs pour différentes utilisations. En fonction de l'utilisation, les durées d'éclairage et les heures annuelles de fonctionnement (sans commande/réduction par capteurs de présence ou de lumière du jour) sont les suivantes:

24 h = 8760 h/a

12 h = 4380 h/a

Salle de classe = 1180 h/a (SIA 2024)

Industrie/prod. = 3980 h/a (SIA 2024)

Bureau = 1860 h/a (SIA 2024)

### Exemple

L'exemple suivant illustre l'OéE pour une salle de classe: dans une démarche de réduction de la consommation d'électricité, le facteur puissance est d'abord analysé. Il est admis par simplification que le lumi-

naire initial A peut être remplacé par un nouveau, de type LED.

L'éclairage initial est composé de plafonniers avec réflecteur et grille anti-éblouissement. Le luminaire comporte deux tubes fluorescents T16 (diamètre 16 mm) à 35 W. L'efficacité lumineuse du luminaire atteint  $\eta_{\text{LOR}} = 63\%$ . Le flux lumineux d'un tube fluorescent T16/35 W est de  $\phi_{\text{lampe}} = 3300$  lumens.

La puissance de raccordement, respectivement du groupe de luminaires, résulte de la puissance des tubes et de la puissance absorbée par le dispositif de fonctionnement nécessaire pour le raccordement au secteur 230 volts. Si la puissance du raccordement, respectivement du groupe de luminaires, n'est pas connue, il est possible d'augmenter la puissance des tubes de 10% au minimum pour le dispositif de fonctionnement.

### Consommation d'électricité des luminaires initiaux

La formule suivante permet de calculer la consommation annuelle d'électricité pour l'installation d'éclairage existante:

$$E_{\text{écl}} = n \cdot P_{\text{luminaire}} \cdot \Delta t$$

$$E_{\text{écl}} = 12 \cdot 78 \text{ W} \cdot 1180 \text{ h/a}$$

$$E_{\text{écl}} = 1104,5 \text{ kWh/a}$$

#### Fiche technique luminaire existant

	Lampes	2 x tube fluorescent T16 35W
	Flux lumineux	6600 lm
	$\phi_{\text{luminaire}}$	
	Puissance de raccordement $P$	78 W
	Rendement $\eta_{\text{LOR}}$	63 %
	UGR*	< 19

\*La valeur UGR (Unified Glare Rating, taux d'éblouissement, p. ex.  $\text{UGR}_{\text{bureau}} \leq 19$ ) est indiquée pour chaque activité dans la norme SN EN 12464-1:2013 et ne doit pas être dépassée.

#### Fiche technique nouveau luminaire


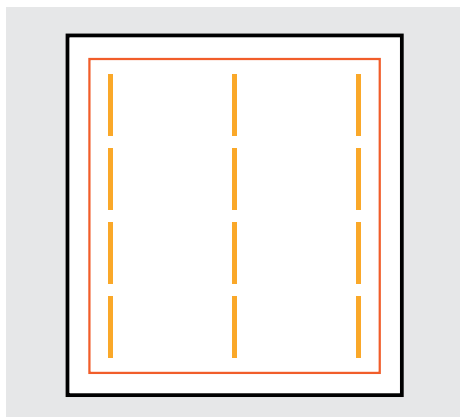
	Lampes	LED
	Flux lumineux $\phi_{\text{luminaire}}$	4590 lm
	Puissance de raccordement $P$	38 W
	Rendement $\eta_{\text{LOR}}$	100 %
	UGR*	< 16

Illustration 3.2:  
Plan de la salle de classe (8 x 8,6 m),  
disposition des  
12 luminaires.





$E_{\text{écl}}$	Énergie pour l'éclairage [kWh]
$n$	Nombre de luminaires
$P_{\text{luminaire}}$	Puissance de raccordement du luminaire [W]
$t$	Temps [h/a] ou selon SIA 2024 ou SIA 387/4: heures annuelles [h]

### Efficacité de l'installation avec les luminaires initiaux

L'efficacité d'un éclairage est évaluée au moyen de la puissance électrique spécifique  $p_L$  pour la répartition d'éclairage souhaitée. C'est la puissance de raccordement de tous les luminaires divisée par la surface éclairée du local.

$$p_L = \frac{n \cdot P_{\text{luminaire}}}{A}$$

$$p_L = \frac{12 \cdot 78 \text{ W}}{68,8 \text{ m}^2}$$

$$p_L = 13,6 \text{ W/m}^2$$

$p_L$	Puissance électrique spécifique [W/m <sup>2</sup> ]
$A$	Surface éclairée de la pièce [m <sup>2</sup> ]

La puissance électrique spécifique calculée  $p_L$  est ensuite comparée aux exigences de la SIA 2024 ou SIA 387/4. La valeur limite de ces normes est une valeur minimale facilement atteignable selon l'état actuel de la technique. La valeur cible, par contre, est une valeur indexée maximale qui est seulement atteignable avec les meilleurs composants. Pour l'installation examinée ici, la SIA 387/4 définit les valeurs suivantes:

- Valeur limite: 11,0 W/m<sup>2</sup>
- Valeur cible: 7,2 W/m<sup>2</sup>

La valeur limite est dépassée, l'installation de l'exemple ci-dessus est donc inefficace. Si elle fonctionne seulement quelques heures par an et que sa part sur la consommation totale d'électricité est faible, il s'agit d'évaluer par d'autres facteurs encore si une optimisation est vraiment rationnelle.

### Efficacité des luminaires initiaux

L'efficacité du luminaire existant est déterminée au moyen de son rendement lumineux  $\eta_{\text{luminaire}}$ . Cette valeur permet ensuite

de le comparer à des luminaires neufs du marché. Une liste de luminaires certifiés «Luminaire Minergie» ayant une efficacité élevée est disponible par exemple sur le site [www.top-lumiere.ch](http://www.top-lumiere.ch).

Pour l'exemple:

$$\eta_{\text{luminaire}} = \frac{(\phi_{\text{luminaire}} \cdot \eta_{\text{LOR}})}{P_{\text{luminaire}}}$$

$$\eta_{\text{luminaire}} = \frac{6600 \text{ lm} \cdot 0,63}{78 \text{ W}}$$

$$\eta_{\text{luminaire}} = 53,3 \text{ lm/W}$$

$\eta_{\text{luminaire}}$  Rendement lumineux du luminaire [lm/W]

$P_{\text{luminaire}}$  Puissance de raccordement du luminaire [W]

$\phi_{\text{luminaire}}$  Flux lumineux de toutes les lampes dans le luminaire [lm]

$\eta_{\text{LOR}}$  Rendement du luminaire

### Efficacité nouveau luminaire

Les calculs suivants sont effectués au moyen des mêmes formules que pour le luminaire initial avec les spécifications du nouveau luminaire.

Rendement lumineux du nouveau luminaire:

$$\eta_{\text{luminaire}} = \frac{4590 \text{ lm} \cdot 1,00}{38 \text{ W}}$$

$$\eta_{\text{luminaire}} = 120,8 \text{ lm/W}$$

Consommation annuelle d'électricité du local avec le nouveau luminaire:

$$E_{\text{écl}} = n \cdot P_{\text{luminaire}} \cdot t$$

$$E_{\text{écl}} = 12 \cdot 38 \text{ W} \cdot 1180 \text{ h}$$

$$E_{\text{écl}} = 538,1 \text{ kWh/a}$$

La comparaison du luminaire initial avec le nouveau luminaire de technologie LED montre que l'efficacité lors d'un remplacement 1:1 est doublée, respectivement que la consommation d'électricité est réduite de moitié.

### Le paramètre temps

L'optimisation de la consommation d'électricité s'est portée jusqu'ici sur la modifica-

tion de la puissance installée. La durée de fonctionnement permet de réduire la consommation encore davantage. À cet effet, les régulations commandées par capteur et détectant la présence et la lumière du jour sont par exemple appropriées.

D'expérience, les capteurs de présence permettent de réduire les durées d'enclenchement de 10 à 70 %. Dans la pratique, ceci dépend du type de régulation, de la fréquence d'utilisation et de la durée de temporisation.

Dans le cadre d'une OéE pour bâtiments existants, les possibilités de réduction des durées d'activation de l'éclairage artificiel au moyen de l'utilisation de la lumière du jour sont limitées. Explication: les éléments de construction (fenêtres, stores, protections solaires, etc.) déterminants pour une utilisation optimale de la lumière du jour sont souvent intégrés à la structure primaire ou secondaire du bâtiment. Il est donc difficile ou impossible de les optimiser. Cette différence notable entre constructions nouvelles et existantes est particulièrement insatisfaisante, car une bonne utilisation de la lumière du jour permet de réduire les durées d'activation jusqu'à 80 % selon la norme SIA 387/4.

### Conflit d'objectifs

Les fenêtres procurent de la lumière du jour, créent le lien avec l'extérieur et fournissent ainsi des informations sur le temps, la saison et l'heure de la journée. La norme suisse SN EN 17037 – «L'éclairage naturel des bâtiments» est en vigueur depuis 2019. Cependant, les fenêtres sont rattachées étroitement aux domaines chauffer, refroidir et ventiler. En raison de ces différentes fonctions, les conflits d'objectifs sont programmés. Les conditions optimales dépendent de la catégorie de bâtiment, de l'affectation de la pièce et des besoins des utilisateurs. Un taux de surface vitrée très élevé ou au contraire très bas conduit à des conflits d'objectifs avérés.

### Implication des utilisateurs

Si l'on souhaite tout de même influencer les durées d'activation dans le cadre de l'OéE, il faut orienter les utilisateurs et leur comportement. La commande manuelle correcte de la protection solaire et de l'éclairage améliore non seulement le confort, mais peut aussi réduire la consommation d'énergie pour l'éclairage, le chauffage et le refroidissement. La formation des utilisateurs sur la commande manuelle de la protection solaire représente un grand potentiel.

Tableau 3.1:  
Caractéristiques techniques de tubes fluorescents. Toutes les données se rapportent à des lampes avec un indice CRI = 80 et une température de couleur de 3000 ou 4000 K.

	Diamètre [mm]	Longueur [mm]	Puissance [W]	Flux lumineux [lm]	Puissance du système avec B.E.* [W]	Puissance du système avec B.C.* [W]
<b>Tube fluorescent T16</b>	16	549	14	1200	17	–
	16	849	21	1900	24	–
	16	1149	28	2600	31,5	–
	16	1449	35	3300	39	–
	16	549	24	1750	27	–
	16	849	39	3100	41,5	–
	16	1149	54	4450	60	–
	16	1449	49	4300	54	–
	16	1449	80	6150	86,5	–
<b>Tube fluorescent T26</b>	26	590	18	1350	21	
	26	1200	36	3350	36,5	env. 44
	26	1500	58	5200	56	env. 69
<b>Tube fluorescent T38</b>	38	590	20	1200	–	env. 28
	38	1200	40	3000	–	env. 48
	38		65	4800	–	env. 76

\*B.E.: ballasts électroniques, B.C.: ballasts conventionnels

### Solution intermédiaire, lampes LED Retrofit

Il arrive que le remplacement complet de l'installation d'éclairage ne soit pas rentable. En particulier, si les luminaires n'ont pas encore atteint la fin de leur durée de vie, mais que les lampes doivent être changées.

Grâce à la miniaturisation, il existe sur le marché actuel des lampes de technologie LED qui ont la même forme que des lampes fluorescentes. Ces lampes, appelées lampes LED Retrofit, tiennent parfaitement dans les luminaires existants. Toutefois, il faut s'assurer que le flux lumineux de la lampe LED Retrofit se trouve dans la même zone que celle de la lampe fluorescente à remplacer. Les flux lumineux des différentes lampes fluorescentes sont listés dans le tableau 3.1.

Une lampe LED Retrofit doit fournir le même flux lumineux minimum que la lampe fluorescente à remplacer. De plus, son rendu des couleurs, c'est-à-dire l'indice CRI ou Ra, doit atteindre au moins 80. Pour finir, la température de couleur devrait également correspondre à celle des lampes existantes. Elle se situe entre 3000 K et 4000 K pour la plupart des applications.

Étant donné que la répartition lumineuse des lampes LED Retrofit diffère de celle des lampes fluorescentes, il se peut que le guidage de la lumière et le contrôle de l'éblouissement du luminaire existant soient considérablement modifiés. Pour les utilisations avec des besoins élevés en ergonomie, les bureaux par exemple, il est judicieux de consulter un éclairagiste en cas de remplacement par des lampes LED Retrofit. Il va de soi que leur utilisation doit aussi être conforme aux exigences de l'Inspection fédérale des installations à courant fort (ESTI).

Les lampes LED Retrofit semi-autonomes ont la particularité d'intégrer un système de détection de présence et de lumière du jour ce qui permet d'optimiser les durées d'enclenchement sans capteurs externes. Le potentiel d'optimisation est ainsi sensiblement augmenté par rapport à un simple remplacement des lampes.



*Illustration 3.3:  
Lampe LED Retrofit  
conventionnelle.  
(Photo: LEDCity AG)*



*Illustration 3.4:  
Lampe LED Retrofit  
avec capteurs.  
(Photo: LEDCity AG)*

## 3.2 Installations de transport dans le bâtiment

### Volker Wouters

Les installations de transport telles que les ascenseurs, les escaliers mécaniques et les trottoirs roulants consomment jusqu'à 50 % moins d'électricité après une modernisation. La pose d'un système d'entraînement moderne, la récupération d'électricité ainsi que l'optimisation de l'éclairage, de la commande et de l'entraînement de la porte rendent cette économie possible.

### Réduire la consommation en mode veille

Les anciens ascenseurs consomment jusqu'à 90 % de leur énergie en mode veille. En effet, l'entraînement et les tableaux de commande sont en permanence sous tension afin que l'ascenseur soit toujours prêt à démarrer. Les éclairages de vieilles générations consomment également nettement plus d'électricité que les plus récents qui en outre éclairent mieux et créent une luminosité agréable.

### Déplacement sûr à consommation réduite

Les nouveaux entraînements sans engrenage travaillent avec efficacité au niveau énergétique et assurent un déplacement silencieux et sûr avec une précision d'arrêt améliorée. De plus, les composants s'usent moins vite que ceux des entraînements à engrenage. Un rendement élevé et une régulation par convertisseur de fréquence réduisent de manière sensible la consommation d'électricité par course. De plus, avec un entraînement sans engrenage, la pose d'un frein à câble et d'un système de suspension supplémentaires devient caduque ce qui réduit les coûts.

### Récupération

La récupération représente la mesure technique la plus compliquée pour augmenter l'efficacité énergétique. Il s'agit d'un procédé technique de récupération énergétique qui est de plus en plus standard pour les nouvelles installations. Alors que les ascenseurs classiques perdent l'énergie de freinage sous forme de chaleur, le freinage

des ascenseurs à récupération réutilise une partie de l'énergie cinétique sous forme d'électricité. Dans le meilleur des cas, cela représente jusqu'à 40 % de l'énergie nécessaire au déplacement.

Il est aussi possible de monter des systèmes à récupération dans les ascenseurs existants. La rentabilité économique dépend de la fréquence de déplacement, de la charge, de la hauteur de déplacement et d'autres facteurs encore. L'affirmation suivante se vérifie très souvent: plus le bâtiment est haut et plus le nombre annuel de courses est important, plus la pose d'un système d'entraînement avec récupérateur est rentable. Comparons les deux cas suivants:

Ascenseur A, données principales:

- Charge nominale: 630 kg
- Vitesse: 1,0 m/s
- Hauteur de levage: 12 m
- Nombre d'arrêts: 5
- Nombre de courses par année: 52 000

La récupération permet dans ce cas d'économiser moins de 4 % de l'énergie de fonctionnement. Si le courant coûte 0.2 Fr./kWh, cela fait 6.00 Fr. par année.

Ascenseur B, données principales:

- Charge nominale: 1500 kg
- Vitesse: 3,0 m/s

### ProEleva: le fonctionnement

Le programme de soutien lancé par la confédération en 2019 subventionne des mesures d'efficacité jusqu'à 30 % du montant de l'investissement. Il intègre avec des partenaires spécialistes, en l'occurrence des fabricants d'ascenseurs sélectionnés. Étant donné que la durée d'amortissement doit être supérieure à quatre ans, il n'est pas possible de soutenir les projets OéE. Sont éligibles les mesures suivantes: utilisation de nouvelles technologies d'entraînement plus efficaces, réduction de la consommation en mode veille et modernisation des ascenseurs avec récupérateurs. Le programme a été lancé par des fabricants d'ascenseurs.

- Hauteur de levage: 76 m
- Nombre d'arrêts: 20
- Nombre de courses par année: 360 000

Dans ce cas, il est possible d'économiser presque 40 % de l'énergie de fonctionnement, soit 1350 Fr./a.

Pour les tours, l'utilisation d'une commande d'appel de destination peut être prise en considération. Au moyen de la commande d'appel de destination, les personnes sont assignées à une cabine par l'intermédiaire d'un display. Grâce à cette assignation, l'utilisation des ascenseurs est optimisée et les cabines non utilisées peuvent être mises en veille. Les temps d'attente sont légèrement augmentés, ceci en faveur d'une consommation d'énergie plus faible.

### Éclairage efficace

Il est toujours conseillé de remplacer l'ancien éclairage. Remplacer les lampes halogènes obsolètes par des LED par exemple, permet de réduire les besoins en électricité pour l'éclairage jusqu'à 80 %. De plus, les lampes LED ont une durée de vie prolongée d'un multiple comparée aux lampes d'anciennes générations, telles que les lampes halogènes.

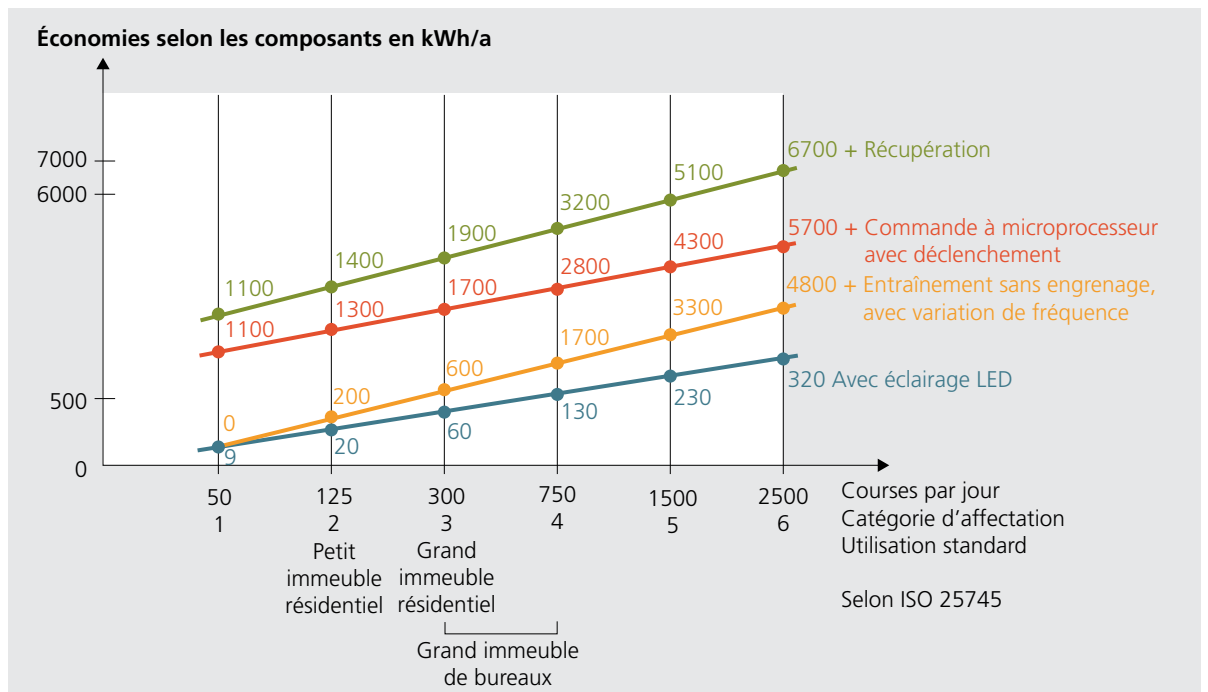
Il est également possible d'économiser de l'électricité grâce à une extinction automa-

tique de l'éclairage. Plus le nombre de courses effectuées par l'ascenseur est faible, plus c'est important. Mais même dans les bâtiments de bureaux de grande fréquentation, les ascenseurs sont majoritairement à l'arrêt pendant la nuit. Laisser l'éclairage enclenché consomme inutilement de l'énergie. Pour les ascenseurs d'un certain âge, il est possible de réaliser une extinction automatique par le biais de la commande.

### Escaliers mécaniques et trottoirs roulants

Pour économiser de l'énergie, les escaliers mécaniques et trottoirs roulants peuvent être surveillés par une détection de personnes qui les déclenche s'il n'y a pas d'usagers à transporter (fonctionnement en mode «stop-and-go»). Une alternative consiste à réduire la vitesse de course à 0,1 m/s (marche lente). En fonction de l'affectation du bâtiment et du mode de fonctionnement, ces deux mesures permettent d'économiser jusqu'à 30 % de l'énergie annuelle. Dans la pratique, cette économie dépend fortement de l'intensité d'utilisation. La consommation annuelle standard d'un escalier mécanique et d'un trottoir roulant se situe entre 10 000 et 20 000 kWh.

*Illustration 3.5: Ascenseurs: économies cumulées par année au moyen de différentes mesures d'optimisation. (Source: Marcel Ackermann)*



### 3.3 Chauffage

**Angelo Lozza**

Presque chaque bâtiment peut tirer profit d'une OéE des installations de chauffage. Pour les bâtiments de petite taille, on procède souvent aux «Quick-Checks», tandis que pour les installations plus complexes et de plus grande taille, des projets d'optimisation plus complets sont nécessaires. Il s'agit surtout des catégories de bâtiments suivantes:

- Habitations, hôtels
- Bureaux
- Homes, hôpitaux
- Installations sportives
- Institutions de formation

Plus de 90 % des bâtiments en Suisse ont été construits avant 1990 – les projets portent donc souvent sur de vieilles installations et régulateurs. Mais cela ne veut pas dire que le potentiel est limité – bien au contraire! De nombreux exemples réalisés démontrent qu'il est possible de faire des économies d'énergie étonnantes allant de 10 à 20 %. Cette économie est souvent le résultat de l'addition de nombreuses mesures spécifiques, même petites. Il y a divers points de départ pour une OéE:

- Les installations de chauffage étaient souvent livrées avec des réglages d'usine et non modifiés par rapport au profil réel des utilisateurs.
- Lors de la planification, exploitants et locataires n'étaient pas connus et la connaissance des exigences et besoins réels d'utilisation faisait défaut.

■ Les installations étaient réglées de sorte qu'il n'y ait à coup sûr aucune réclamation. Ceci a souvent pour résultat une offre excédentaire de chaleur.

■ La motivation manquait à l'époque pour une OéE.

■ Ajuster la régulation dans les règles de l'art ne faisait souvent pas partie du mandat.

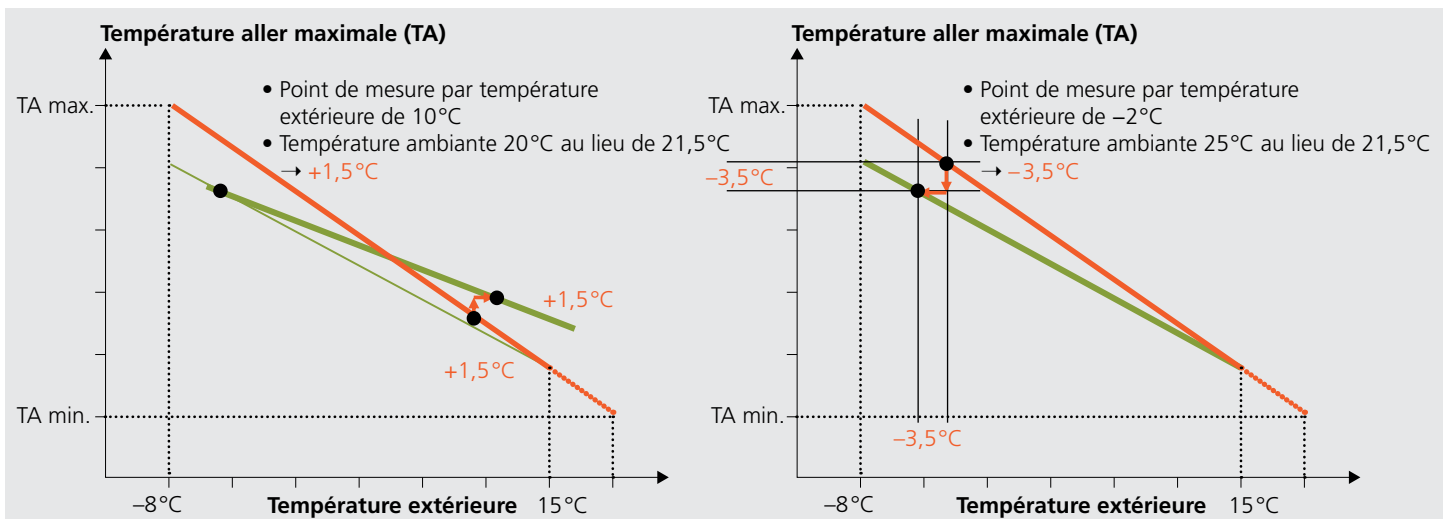
■ Les installations et interfaces utilisateur ne sont pas très accessibles en termes d'OéE.

■ Les changements en rapport avec le type et les exigences d'utilisation, telles que l'occupation des locaux ou les périodes d'utilisation représentent d'autres contraintes pour les installations. Ce point n'est souvent pas pris en considération pendant la phase d'exploitation.

#### Réduire la consommation

De prime abord, ce sont les utilisateurs eux-mêmes qui peuvent contribuer à réduire la consommation d'énergie. Dans le cadre d'une OéE, il faudrait leur expliquer entre autres les mesures suivantes: une ventilation et un réglage corrects des vannes thermostatiques ou de la régulation pièce par pièce des locaux, la purge, le contrôle des radiateurs et le fait de ne pas les recouvrir. Il est en général possible de rendre étanche avec peu d'effort les fenêtres, portes et portails qui laissent passer l'air ainsi que les joints entre les éléments de construction, par exemple entre le caisson de store et la paroi extérieure. Les exutoires de fumée des cages d'ascen-

*Illustration 3.6:  
Procédure de correction de la courbe de chauffe; en rouge: ancienne courbe de chauffe, en vert: nouveaux réglages. (Méthode: Jürg Tödli)*



seur peuvent être équipés de clapets avec commandes afin que l'air intérieur chaud ne s'échappe pas par effet de cheminée. Ensuite, il faut isoler toutes les conduites non isolées et en particulier la robinetterie.

### Mesures organisationnelles

La plupart du temps, la température pourrait être réduite dans les locaux temporairement inutilisés sans perte de confort. Les mesures suivantes sont indiquées:

- Réduire les périodes d'utilisation définies et programmer des périodes de régime réduit (la nuit, week-ends, vacances).
- «Densifier» l'utilisation en regroupant et disposant autrement les locaux, afin de pouvoir introduire un régime réduit dans les parties du bâtiment dorénavant non utilisées.
- Prescrire des températures ambiantes maximales.
- Motiver les exploitants et utilisateurs en faveur des économies d'énergie.

### Chauffer en fonction des besoins

Toutefois, l'accent doit être mis sur la régulation en fonction des besoins. La première étape consiste à régler correctement le régulateur central du chauffage. Les fonctions de base sont toujours les mêmes – indépendamment du fait qu'il s'agisse d'un système de gestion du bâtiment dernier cri ou d'anciens régulateurs analogiques. Dans le cadre d'une analyse plus approfondie, il est aussi judicieux de contrôler la précision des sondes de température extérieure, de température aller et retour, ainsi que l'heure indiquée sur le régulateur. Les conséquences d'une courbe de chauffe réglée trop haut ne sont souvent pas immédiatement perceptibles. En effet, les thermostats ou régulateurs des pièces limitent le débit dans les corps de chauffe dès que la température souhaitée est atteinte.

### Optimiser la courbe de chauffe

Le réglage correct de la courbe de chauffe prend beaucoup de temps, ceci en raison de l'inertie du bâtiment et de tous les effets auxquels il est soumis. Il repose sur les mesures de température horaires, journa-

lières et sur des périodes plus longues. La procédure concrète est la suivante:

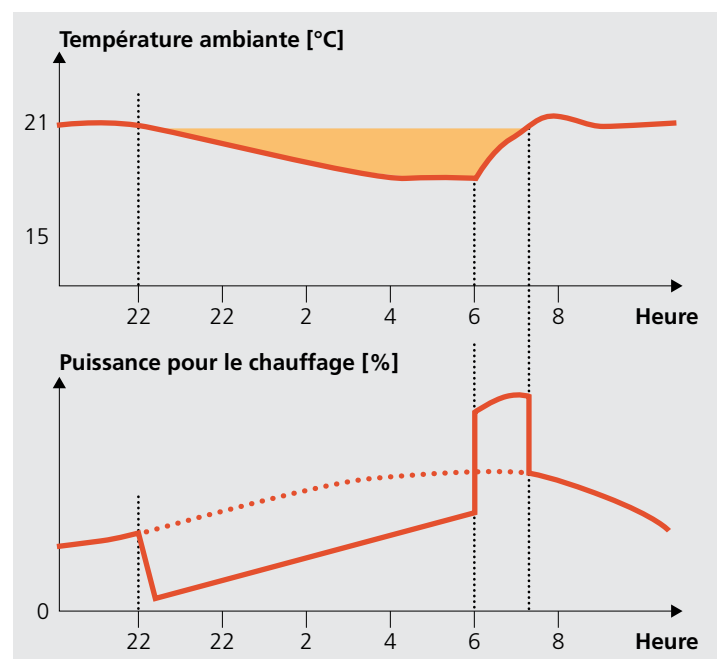
- Identifier les locaux représentatifs ou critiques: disposés côté nord, aux angles, au dernier étage.
- Enlever les vannes thermostatiques ou alors les ouvrir complètement.
- Si possible, mesurer la température par temps chaud (environ 10°C) et par temps froid (sous 0°C), le jour et la nuit.
- Éviter pendant les mesures les apports de chaleur externe tels que le soleil, les lampes ou appareils. Les fenêtres devraient rester fermées.

Sur la base des résultats de mesure, la courbe de chauffe est réglée à nouveau selon l'illustration 3.6. Elle est corrigée à chaque fois lors de températures extérieures froides et tempérées. La température ambiante de consigne doit être définie en amont avec le mandant. Elle doit être atteinte dans le local le plus défavorable au début de la période d'utilisation.

Si la température est nettement trop basse dans quelques locaux isolés, le problème ne doit pas être résolu en augmentant la courbe de chauffe. Il s'agit plutôt de clarifier le problème spécifique au local:

- Examiner le débit: est-ce que le corps de chauffe est chaud sur toute sa surface? S'il est chaud en haut et froid en bas, alors le

*Illustration 3.7: Mesure pour un régime réduit optimisé pour une distribution de chaleur par corps de chauffe.*



débit est trop faible → vérifier si les vannes sont complètement ouvertes. S'il est froid en haut et chaud en bas → le purger.

■ Améliorer le flux d'air autour du corps de chauffe: enlever les obstacles tels que les rideaux, les meubles et autres.

■ Mesurer la distribution de température au sol avec une caméra thermique. Si nécessaire augmenter le débit ou purger les conduites du chauffage au sol.

■ Grands écarts de température dans le corps de chauffe, pour les chauffages au sol: augmenter le débit au distributeur, améliorer l'équilibrage hydraulique.

■ Augmenter éventuellement la pression de la pompe de circulation en élevant le régime (c'est très rarement la cause du problème).

### Régime réduit

Le régime nocturne réduit est particulièrement judicieux pour les bâtiments anciens et les bâtiments avec de courtes périodes d'utilisation. Souvent il est déjà réglé au niveau du régulateur de chauffage, mais l'effet escompté n'est pas atteint et il peut être optimisé.

La réduction en dehors des périodes d'utilisation devrait si possible être réglée pour que la température ambiante du local réagissant le plus rapidement soit de nouveau atteinte au début de la période d'utilisa-

tion. Par expérience, la réduction peut commencer avant la fin de la période d'utilisation, soit 2 heures avant pour les corps de chauffe, soit 5 heures avant pour le chauffage au sol. A l'inverse, elle peut également être déclenchée 2 à 5 heures avant l'utilisation du local. Ici, la capacité thermique du bâtiment influence de manière déterminante la durée de la phase de relance. Certains régulateurs sont pourvus d'une régulation autoadaptative et/ou d'une fonction de relance rapide. Elle augmente la température aller de quelques degrés de plus que la température de consigne selon la courbe de chauffe (illustration 3.7).

Le plus grand profit peut être tiré avec des locaux programmables séparément, donc une régulation indépendante pour chaque local. Elle permet la fermeture complète des vannes dans la phase de réduction et une température ambiante en fonction des besoins pendant la période d'utilisation.

Avec les pompes à chaleur, il faut prendre en compte le coefficient de performance annuel qui peut baisser en raison de la température plus élevée du réseau de chauffage pendant la phase de relance.

### Réglage de la commutation été/hiver

La commutation entre régime été et hiver est également appelée mode Eco ou limite

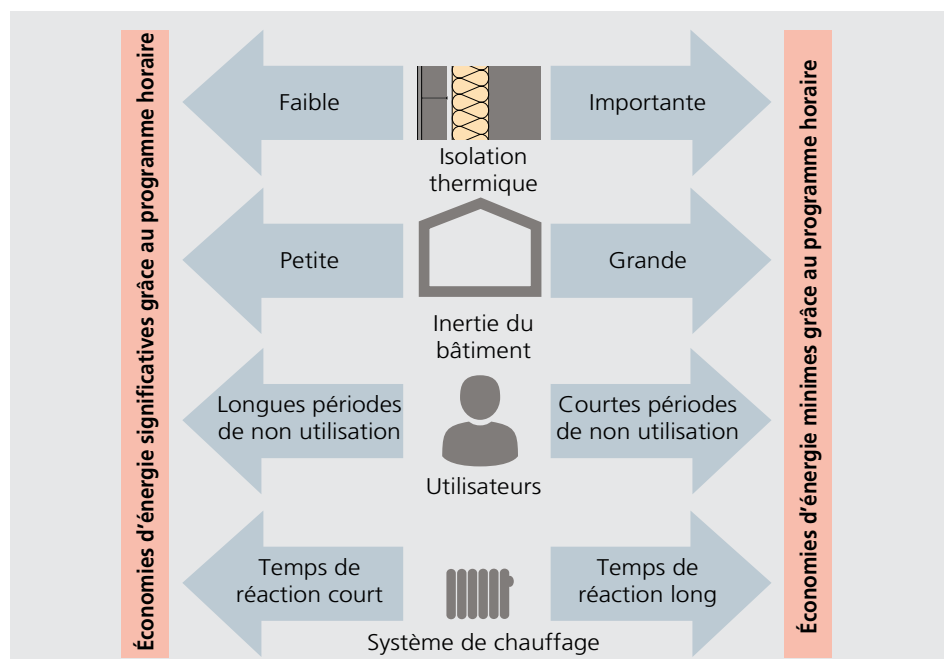


Illustration 3.8:  
Le potentiel d'économie d'énergie par réduction nocturne dépend de différents facteurs.



de chauffage. Avec un bon réglage, la pompe de chauffage ne fonctionne pas plus longtemps que nécessaire dans l'entre-saison. Si elle n'est pas bien réglée, la perte d'énergie est importante.

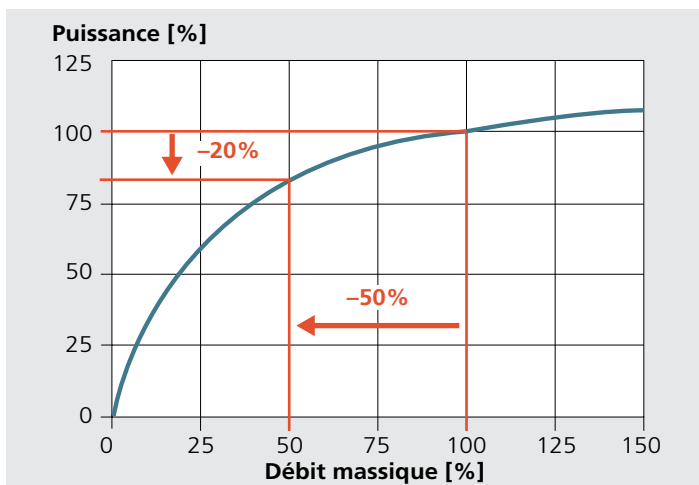
Le facteur déterminant est la valeur limite pour la température extérieure. Elle ne doit en principe pas être supérieure à 16°C. Concrètement, elle doit être réglée de sorte que la température ambiante dans le local thermiquement le plus problématique soit atteinte même sans chauffage. Réglage usuel pour la limite de chauffage: valeur jour: 12–17°C, valeur nuit: 0–8°C. La température de consigne ainsi que la performance de l'isolation sont ici déterminantes. Certains régulateurs ne permettent de sélectionner qu'une seule valeur limite au lieu d'une pour la nuit et d'une pour le jour. Il s'agit alors la plupart du temps de la valeur moyenne sur 24 heures.

### Fonctionnement des pompes de circulation

Le débit de la pompe est souvent réglé trop haut lors de la mise en service. Dans une OéE, il peut souvent être réduit sans diminuer le confort thermique des locaux (illustration 3.9). Néanmoins, avant de modifier le débit de la pompe, l'optimisation de la courbe de chauffe doit être terminée.

Si, pour de rares locaux, la chaleur n'est pas suffisante, le problème doit être recherché dans les locaux eux-mêmes, de manière analogue à l'optimisation de la courbe de chauffe.

*Illustration 3.9: Émission de chaleur des corps de chauffe: si le débit est réduit, l'émission de chaleur par les corps de chauffe avec des températures aller élevées (> 50°C) baisse proportionnellement moins vite.*



### Conduites à distance

Les conduites de raccordement vers d'autres bâtiments d'un lotissement sont aussi appelées conduites à distance. Les consommateurs pour la production d'eau chaude sanitaire et pour le chauffage y sont généralement raccordés. Les deux systèmes fonctionnent avec des températures et des durées de fonctionnement très différentes. Les conduites de chauffage à distance fonctionnent souvent entre 70 et 80°C et génèrent ainsi des déperditions thermiques importantes pendant toute l'année.

La mesure OéE la plus efficace est ici de définir des plages horaires de charge pour les accumulateurs d'eau chaude sanitaire. Une conduite à distance fournit ainsi 3 fois par jour pendant 2 heures de l'eau chaude à 70°C, scénario classique pour les habitations. En dehors de ces plages, elle fonctionne selon la courbe de chauffe et reste hors service au-delà de la limite de chauffage. Pour les pompes à régime variable, afin de réduire la température de retour et la consommation électrique des pompes, réaliser si possible des circuits d'étranglement hydrauliques à débit variable. Il est possible de démonter des déviations sans trop d'effort (voir illustration 3.55).

### Production de chaleur – chaudières

Une maintenance et un entretien professionnel du producteur de chaleur sont ici une condition préalable. Cela inclut:

- Nettoyage annuel de la chaudière
- Réglage correct de la combustion par un personnel de service idoine
- Contrôle de la température des gaz de combustion
- Contrôle du clapet d'air secondaire (pour empêcher le refroidissement de la chaudière)
- Contrôle de la taille de l'ouverture d'amenée d'air neuf (tableau 3.2).

*Tableau 3.2: Détermination approximative de la taille des prises d'air neuf pour chaudières à mazout et à gaz.*

Type de brûleur	Dimension prise d'air neuf
<b>Brûleurs à air pulsé</b> (mazout et gaz)	Surface en cm <sup>2</sup> = Puissance en kW x 6
<b>Brûleurs atmosphériques</b> (mazout et gaz)	Surface en cm <sup>2</sup> = Puissance en kW x 8,6

**Attention:** une prise d'air neuf de 100 cm<sup>2</sup> au minimum est requise pour tous les types de brûleurs.

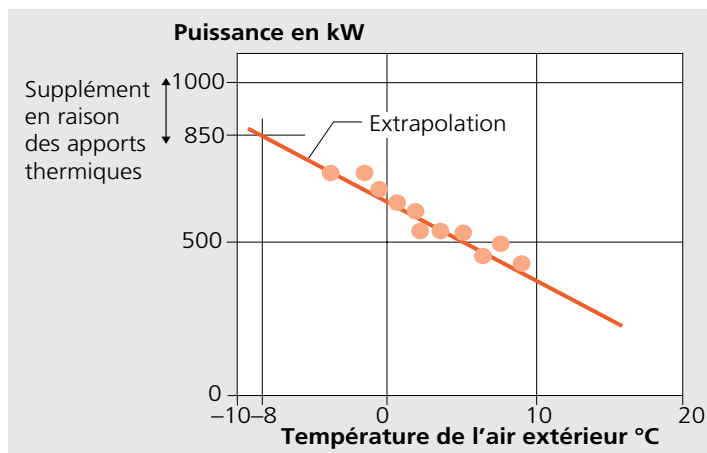
Dans la pratique, la puissance du brûleur est souvent réglée trop haut ou alors le producteur de chaleur est surdimensionné. Un réglage fin en fonction de la valeur nécessaire permet d'améliorer le rendement de la chaudière de 3 à 5 %. L'ajustage des buses du brûleur est un moyen pour y parvenir. Cet ajustage prolonge le temps de fonctionnement du brûleur et réduit les cycles de mise en marche ce qui à son tour réduit les pertes.

La puissance du brûleur effectivement nécessaire (puissance thermique de combustion) en kW peut être déterminée grossièrement au moyen de la consommation annuelle de combustible. La consommation de combustible en kWh est divisée par la durée standard de fonctionnement annuelle à pleine charge du brûleur. Elle est de:

- 2300 h pour les producteurs de chaleur utilisés uniquement pour chauffer
- 2700 h pour les producteurs de chaleur utilisés pour le chauffage et l'eau chaude
- Pour les altitudes supérieures à 800 m: + 250 h
- Pour les bâtiments bien isolés et orientés au sud, les heures de pleine charge sont réduites à 1500 – 2000 h (sans production d'eau chaude)

**Illustration 3.10:**  
Détermination de la puissance thermique de dimensionnement du bâtiment existant par extrapolation à partir de puissances thermiques mesurées.

La puissance nécessaire peut être déterminée exactement au moyen de relevés horaires du compteur d'énergie et par extrapolation (illustration 3.10). Les mesures sont effectuées par exemple le matin, lors de températures extérieures basses et avec production d'eau chaude sanitaire. Cette procédure est recommandée pour les ins-



tallations plus complexes d'une puissance élevée (supérieure à 200 kW environ) ainsi que pour les installations bivalentes ou à plusieurs chaudières.

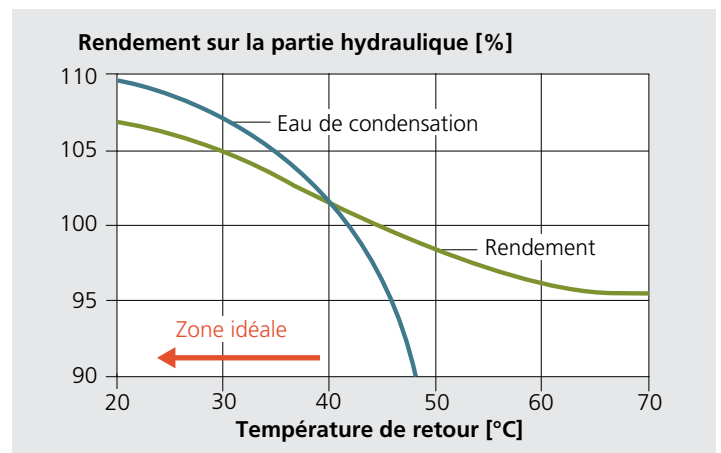
### Températures de chaudière

Le potentiel d'économie par réduction de la température de chaudière et de 1 à 7 % par K (avec condensation des gaz de combustion). Le consommateur avec la température aller requise la plus élevée détermine la température de consigne de la chaudière – ce sera généralement la production d'eau chaude sanitaire. Étant donné que la température minimale de retour pour les chaudières sans condensation des gaz de combustion doit être à 55 °C pour le mazout et 60 °C pour le gaz, la température d'entrée ne doit pas être trop basse. En général, cela est assuré par une augmentation interne de la température retour. L'écart entre températures aller et retour de la chaudière ne peut néanmoins pas être trop petit, sinon la puissance de la chaudière diminue. Dans ce cas, augmenter le débit massique de la pompe de la chaudière.

### Chaudières avec condensation des gaz de combustion

De nos jours, une mesure standard est de faire fonctionner la chaudière avec des températures retour les plus basses possibles ce qui augmente le rendement. 3 à 9 % de gain d'efficacité sont réalistes comparés aux chaudières sans condensation. Si la chaudière existante est admise pour le fonctionnement à condensation, il est particulièrement efficace de régler la courbe

**Illustration 3.11:**  
Rendement de la chaudière pour les chaudières gaz à condensation en fonction de la température de retour.



de chauffe aussi bas que possible et d'empêcher si possible une augmentation de la température retour (voir illustration 3.55).

### Optimisation de la régulation et des temps de fonctionnement du brûleur

En règle général, il est admis que:

- Chaque cycle de mise en marche augmente les pertes de relance.
- Des petites allures de fonctionnement permettent une température des gaz de combustion plus basse et par conséquent un rendement plus haut.

Le potentiel d'économie est ici de 2 %. Il est possible de le réaliser pleinement si la température de consigne correcte est réglée d'abord et que le différentiel de commutation du thermostat de la chaudière se trouve entre 6 et 8 K (illustration 3.12). Les différentiels plus importants induisent des températures de chaudière plus hautes et ainsi des déperditions. Le niveau le plus haut devrait s'enclencher le plus tard possible. Il est éventuellement judicieux de le bloquer au-dessus d'une certaine température extérieure.

### Installations à plusieurs chaudières

Pour les installations à plusieurs chaudières, il faut s'assurer que seule la chaudière nécessaire à la couverture des besoins moyens de chaleur reste en fonction après la fin de la relance. Des chaudières supplémentaires sont ajoutées seulement par enclenchement temporisé, ceci au moyen de la régulation en cascade des chaudières ou encore, lors de températures extérieures plus élevées, au moyen du déclenchement manuel de la chaudière de charges de pointe.

### Pompes à chaleur

Pour les pompes à chaleur, il s'agit de viser un COP aussi élevé que possible. Cela signifie que la température de la source froide de chaleur doit être la plus haute et la température de chauffage la plus basse possible (voir également chap. 3.8). La température de la source froide est souvent donnée et ne peut pas être augmentée à travers les mesures OéE. Pour les pompes à chaleur air-eau, il faut nettoyer l'échangeur de chaleur ou vérifier que le débit reste uniforme.

Voici d'autres mesures importantes:

- Régler la courbe de chauffe le plus bas possible
- Renoncer éventuellement au régime nocturne, en particulier avec les chauffages au sol; dans ce cas, une température aller plus élevée peut s'avérer contreproductive pendant la relance.
- Éviter l'enclenchement et le déclenchement trop fréquents du compresseur. Si des accumulateurs sont installés: rendre possible la charge et la décharge complète.

### Installations bivalentes

Dans le cadre d'une OéE, la démarche est la même que pour l'utilisation des rejets de chaleur des installations de froid (chap. 3.12). Il est de première importance que la pompe à chaleur couvre un taux aussi élevé que possible des besoins de chaleur sans que le COP ne descende trop bas. A cet effet, il faut calculer l'augmentation de température possible jusqu'à ce que la production de chaleur par la pompe à chaleur devienne financièrement et énergétiquement moins favorable que celle produite par l'autre producteur dis-

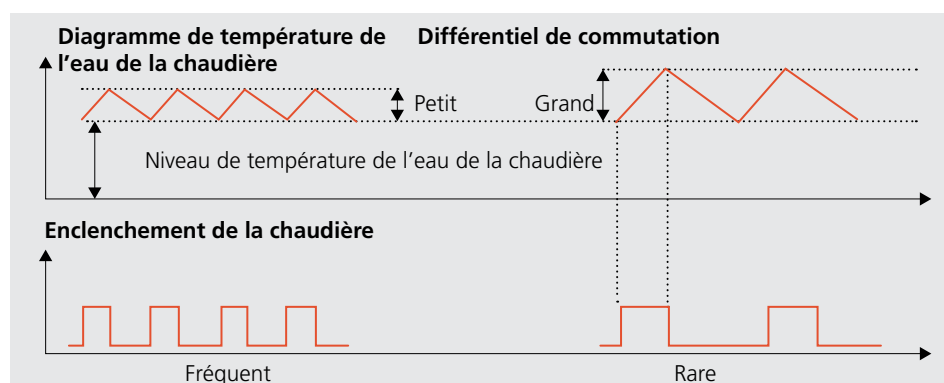


Illustration 3.12: Effet d'un différentiel de commutation trop petit (à gauche): le brûleur s'enclenche et se déclenche fréquemment, les déperditions augmentent.

ponible. En matière de technique de régulation, ceci est au minimum réalisable en réglant le point de commutation à la température aller maximale de la pompe à chaleur.

Comme précédemment, il faut systématiquement s'assurer que les températures aller et retour soient les plus basses possibles. Ainsi, la production de chaleur à basse température peut fonctionner le plus longtemps possible. Il faut par exemple empêcher qu'un groupe avec un faible taux de consommation de chaleur demande en permanence une température plus élevée ou au moins le limiter dans le temps. C'est typiquement le cas pour les charges d'eau chaude sanitaire.

Pour les conduites de raccordement, la surchauffe marquée doit être évitée. Il faut s'assurer que la température aller au bâtiment le plus éloigné ne soit pas obtenue après un mélange avec de l'eau froide. D'autre part, pour les installations à plusieurs chaudières, il faut vérifier par des essais l'enclenchement temporisé des chaudières supplémentaires, par exemple à partir du moment où la température aller se trouve à plus de 3 à 5 K en dessous de la température de consigne planifiée.

### 3.4 Installations de production d'eau chaude

Pour les installations de production d'eau chaude, l'O&E est souvent confrontée à l'hygiène de l'eau de consommation. C'est non seulement la température, mais encore la consommation de l'eau, la simultanéité de consommation de l'eau chaude et le comportement de refroidissement de l'installation qui influencent l'efficacité.

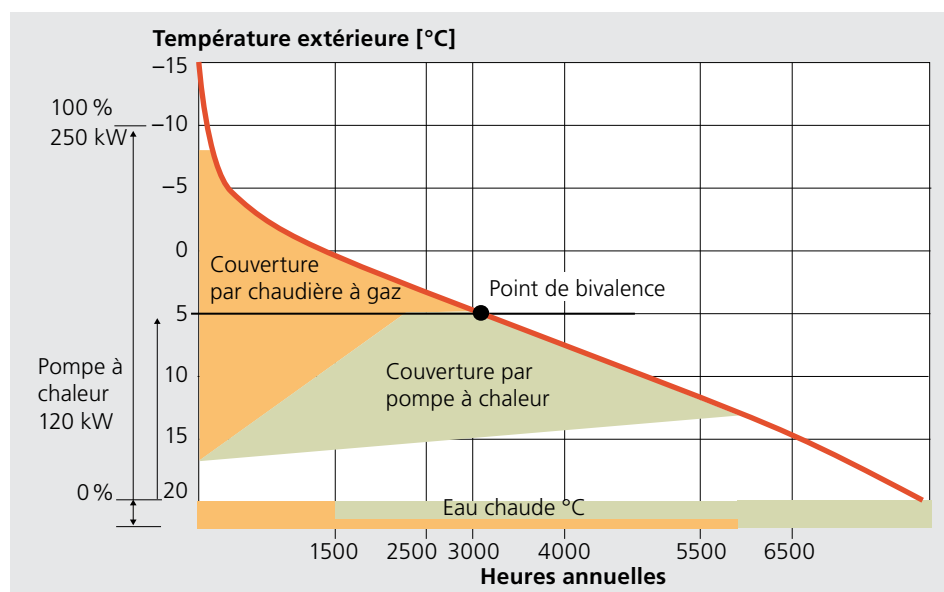
En 1975, les besoins de chaleur pour l'eau chaude sanitaire (ECS) représentaient environ 10 % des besoins totaux de chaleur d'un bâtiment. Avec les exigences actuelles vis-à-vis de l'enveloppe du bâtiment, ce pourcentage se situe entre 60 et 70 % en fonction de la qualité de l'enveloppe.

Étant donné que les conventions d'utilisation entre exploitants, respectivement utilisateurs des bâtiments et planificateurs, sont usuelles uniquement depuis 2015 environ, de nombreuses installations de production d'eau chaude ne fonctionnent pas de manière optimale. Les besoins, le confort, les simultanités, etc., doivent être connus pour la planification d'une installation et par conséquent aussi avant une O&E.

Des instructions claires en termes d'utilisation des installations techniques sont indispensables. Pour cette raison, les utilisateurs, le maître d'ouvrage et le propriétaire doivent être impliqués directement dans l'O&E. En effet, le facteur d'influence le

**Roger Neukom**

*Illustration 3.13:  
Exemple pour le  
point de bivalence  
en prenant le dia-  
gramme des fré-  
quences cumulées.*



plus important reste le comportement des utilisateurs. L'alimentation en eau chaude doit répondre à de nombreuses exigences. L'eau chaude doit notamment être disponible à la température, à la quantité et aux temps de réponse souhaités. Dans tous les cas, elle doit être irréprochable en termes d'hygiène. En outre, la température de l'eau chaude doit être réglable à chaque robinet. En définitive, les installations doivent fonctionner de manière sûre et respectueuse de l'environnement. En observant toutes ces exigences, les mesures OéE suivantes se sont avérées les plus efficaces.

### Robinetts, points de soutirage

Pour les robinets, respectivement points de soutirage, les mesures suivantes sont possibles:

- Clarifier où l'eau chaude est indispensable et où l'eau froide suffit. Si les conditions d'exploitation ou les exigences sont modifiées, elles sont à vérifier et à discuter avec les utilisateurs. Si une partie des conduites d'eau chaude est supprimée, les exigences d'hygiène doivent toujours être remplies.

- Pour les installations spécifiques très éloignées de l'accumulateur d'eau chaude sanitaire ou des conduites d'eau en circulation, il est recommandé de vérifier si elles doivent être déconnectées de l'alimentation centrale en eau chaude. Il est parfois préférable d'équiper de telles installations avec des appareils de production d'eau chaude décentralisés (illustration 3.14). Dans certains cas, il est possible de renoncer complètement à l'eau chaude.

- Réduire la consommation d'eau de sorte à consommer uniquement le volume nécessaire. Éviter de laisser couler les robinets; en cas de mélangeurs, modifier la position du levier de sorte que la position centrale soit assignée à l'eau froide. S'il est prévu de remplacer la robinetterie, vérifier la possibilité de choisir une robinetterie intelligente sans contact. Elle permet d'économiser beaucoup d'eau et ainsi d'énergie, en particulier dans l'hôtellerie et la restauration.

- Utiliser des mitigeurs qui font couler uniquement de l'eau froide lorsque le levier se trouve dans la position centrale. C'est particulièrement judicieux pour les habitations, s'il est de toute façon prévu de remplacer les mitigeurs.

- Pour les piscines couvertes, les salles de sport et les installations de douche de grande taille équipées de robinetterie de douche automatique, les durées de fonctionnement doivent être pré-réglées à un minimum raisonnable. De plus, pour la robinetterie de douche, la température de l'eau mitigée doit être limitée pour qu'il n'y ait pas de températures excessives qui augmentent la consommation d'énergie. La température de l'eau mitigée ne devrait pas être réglée à un mélangeur central, mais seulement au niveau des robinets. Cela assure que les températures minimales selon la SIA soient respectées dans le réseau de conduites et permet une utilisation en fonction des besoins, hygiéniquement favorable et efficace.

*Illustration 3.14:  
Parfois la meilleure  
solution: un  
chauffe-eau décen-  
tralisé. Projet: Trans-  
ports publics VBZ,  
dépôt de trams,  
Zurich-Oerlikon.*



*Illustration 3.15:  
Poser les mitigeurs  
de sorte qu'ils four-  
nissent de l'eau  
froide lorsqu'ils se  
trouvent en posi-  
tion normale.  
(Image: Hansgrohe  
SA)*

### Conduites de distribution

Les mesures suivantes sont judicieuses pour les conduites de distribution, entre points de soutirage et accumulateur d'eau chaude sanitaire (AEC):

- Démontez les conduites qui ne sont plus nécessaires. Cela réduit le volume d'eau chaude du réseau, favorise l'hygiène et réduit la consommation d'énergie.

- Poser de manière ciblée vannes de circulation thermostatique pour un meilleur équilibrage hydraulique de la circulation.

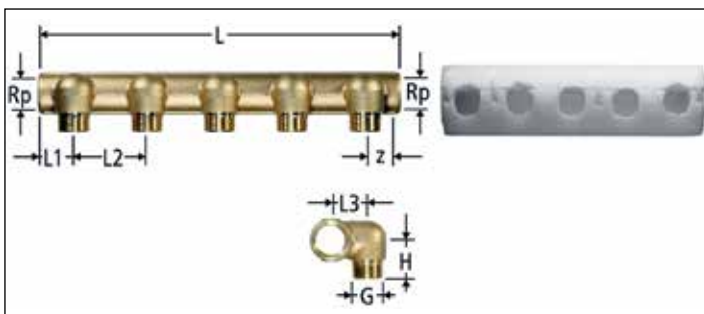
- Vérifier et régler correctement le ruban chauffant électrique en termes de température et de temps de fonctionnement. Les rubans chauffants nécessitent toujours un thermostat et doivent être mis en service dans les règles de l'art, procès-verbal inclus.

- Assurer lors de la programmation que les profils de soutirage sont correctement réglés et harmonisés avec les périodes d'utilisation.

- Assurer que les rubans chauffants ne chauffent pas en permanence l'eau chaude; si elle n'est pas soutirée, elle doit uniquement être tempérée. Pour cette raison, programmer de la manière suivante: température de sortie AEC = température de déclenchement du ruban chauffant – et toujours prendre en compte l'hystérésis!

- Si nécessaire, adapter les isolations des conduites dans les locaux accessibles des sous-sols et des distributeurs d'étage aux exigences des lois cantonales sur l'énergie (illustration 3.16). A partir du distributeur d'étage, les conduites de soutirage ne devraient pas être isolées. Exception: pour les conduites de soutirage de la robinetterie de cuisine qui dépassent les 5 m, il est recommandé d'isoler selon les exigences spéciales définies au chiffre 5.4.3 de la norme SIA 385/1.

*Illustration 3.16: Isoler également les distributeurs d'eau chaude d'étage. (Source: R. Nussbaum SA)*



- Remplacer les pompes de circulation en fin de vie par des produits énergétiquement efficaces munis d'une étiquette-énergie.

- Harmoniser les heures de fonctionnement de la pompe de circulation avec le comportement des utilisateurs – dans la mesure où les normes et directives en vigueur le permettent.

### Production d'eau chaude

Les mesures suivantes sont réalisables sur les installations de préchauffage et les producteurs d'eau chaude:

- Pour les AEC et échangeurs de chaleur externes, les conduites de charge et raccords doivent être entièrement isolés (y compris la robinetterie, etc.) conformément aux lois cantonales sur l'énergie.

- Poser un clapet de retenue ou une vanne d'arrêt automatique dans le circuit de charge pour empêcher l'apparition de circulation à contre-courant.

- Contrôler le maintien en température côté secondaire en installant une pompe à régime variable en alternative à une vanne trois voies. Cela permet d'atteindre des températures de retour basses côté secondaire ce qui à son tour optimise l'utilisation de la chaleur de condensation provenant des chaudières à condensation ainsi que le fonctionnement de la production de chaleur à distance.

- Contrôler l'emplacement des sondes de température marche/arrêt ainsi que leur fonctionnement et les adapter le cas échéant. Effectuer ensuite une mesure pour vérifier et optimiser du point de vue énergétique l'alimentation en eau chaude en matière de comportement des utilisateurs.

- Mesurer la performance des échangeurs de chaleur (internes et externes) au moyen de deux sondes de température, d'un chronomètre et de mesures du débit volumique.

- Détartre les accumulateurs, remplacer les anodes sacrificielles si leur durée de vie est atteinte.

- En cas d'installations de grande taille, diminuer le nombre d'accumulateurs si en raison du comportement de l'utilisateur (consommation) un trop grand volume d'eau chaude sanitaire à température nominale a été préparé pendant les dernières

années. Il faut vérifier par des mesures en amont si cela est véritablement le cas. Celles-ci doivent attester des volumes, des pointes horaires et des cycles de charge optimaux.

### Principes

De nombreux accumulateurs fonctionnent toujours à plus de 60°C ce qui n'est pas demandé dans beaucoup des cas. Cela augmente non seulement les coûts énergétiques, mais encore accélère l'entartrage. Pour cette raison, il ne faut pas régler les accumulateurs conventionnels d'eau chaude à plus de 60°C. Pour les hôpitaux, les établissements pour personnes âgées et les établissements de soins, les directives idoines doivent être respectées.

Si les besoins en eau chaude ne peuvent plus être couverts après la réduction à 60°C, des mesures supplémentaires doivent être envisagées. Le cas échéant, il suffit d'augmenter les cycles de charge et ainsi augmenter le volume journalier d'eau chaude disponible. Cependant, il n'est pas recommandé d'augmenter le volume d'un AEC sans calcul comparatif des besoins en énergie – l'agrandissement des surfaces, les coûts et l'hygiène sont ici déterminants. Pour finir, force est de rappeler que l'entretien régulier de l'installation de production d'eau chaude par des professionnels, de l'AEC jusqu'aux robinets, contribue de manière décisive à l'optimisation.

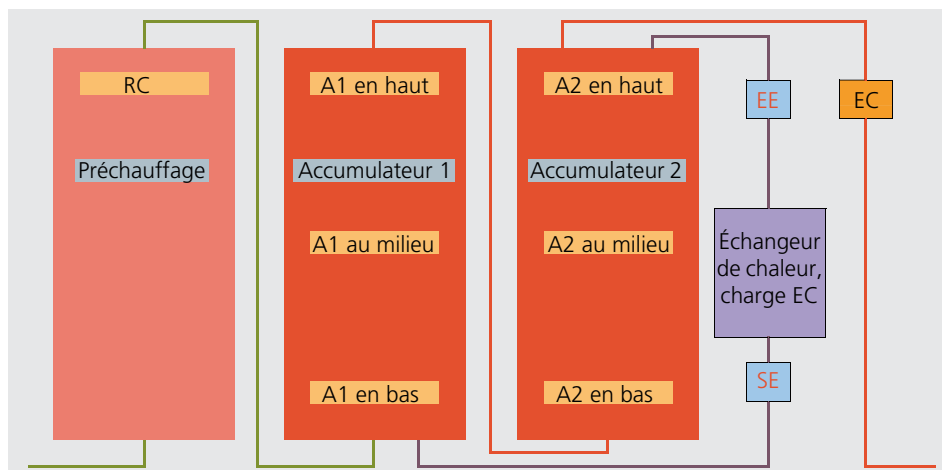


Illustration 3.17: Schéma des points de mesures d'une alimentation en eau chaude. EE: Entrée échangeur, SE: Sortie échangeur. (Source: S. Murchini, Büro für Messtechnik)

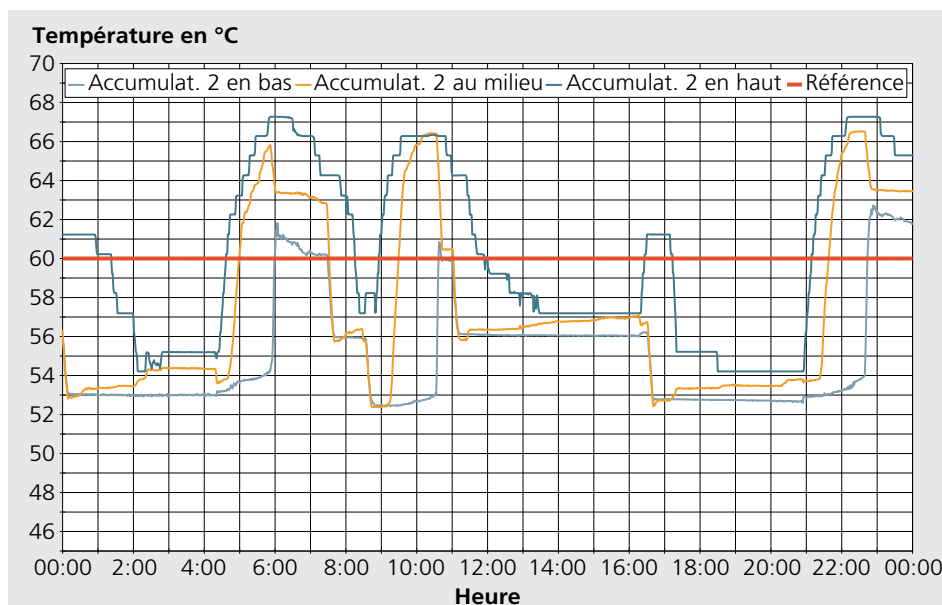


Illustration 3.18: Évolution de la température dans l'accumulateur 2 (A2), ligne rouge = température de consigne. (Source: S. Murchini, Büro für Messtechnik)

### 3.5 Installations sanitaires

Pour l'OéE des installations sanitaires, c'est en principe la consommation d'eau qui joue un rôle. L'eau potable est un aliment et un bien de plus en plus précieux. Selon les procédés, le traitement des eaux de lac, des sources et des eaux souterraines s'avère coûteux et gourmand en énergie. Une utilisation plus consciente et plus économe de l'eau serait ainsi de mise. L'entretien des installations sanitaires est également primordial. S'il est effectué régulièrement par des professionnels, les installations fonctionnent de manière hygiénique et économisent de l'énergie.

#### Toilettes

Près de 30 % de la consommation d'eau en Suisse est imputable au rinçage des WC (illustration 3.19). Pour cet usage, l'eau potable et son traitement onéreux ne seraient au fond pas nécessaires. Les installations de récupération des eaux pluviales dans le cas d'habitations ne parviennent pas à être amorties dans un laps de temps raisonnable. Ainsi, dans le cadre d'une OéE, cette option ne rentre pas en ligne de compte pour optimiser les petites et moyennes installations. C'est dû en particulier au bas prix de l'eau, à la faible quantité d'eau de pluie disponible et à la nécessité de mettre en place des réservoirs importants. Néanmoins, il est possible de réduire le volume d'eau dans les chasses de 9 à 6 l sans grandes concessions au niveau du confort. Un moyen simple consiste à régler le flotteur dans le réservoir de la chasse d'eau.

#### Machines à laver

Utiliser aussi souvent que possible les programmes courts ou programmes éco. Ils économisent du temps, de l'énergie et de l'eau. Si une vieille machine à laver est à remplacer et qu'une installation de récupération des eaux pluviales est à disposition, vérifier s'il est possible d'y raccorder la nouvelle machine avec des efforts raisonnables. Le dernier rinçage est invariablement effectué avec de l'eau du réseau d'eau potable. De nombreuses nouvelles machines à laver ont effectivement deux raccordements à l'eau froide. Le remplacement réduit la consommation d'eau souvent de manière significative – environ de moitié, comparée aux machines vieilles de 10 ans.

#### Lave-vaisselle

Il est important d'enclencher les lave-vaisselle seulement quand ils sont pleins, ceci pour réduire les heures de fonctionnement et économiser de l'eau et de l'électricité. En Suisse, la plupart des lave-vaisselle domestiques sont raccordés à l'eau froide. La pose d'un robinet double disposé avant le lave-vaisselle permet un raccordement simple à l'eau chaude, ceci pour économiser l'électricité nécessaire au réchauffement de l'eau dans le lave-vaisselle.

#### Réducteurs de débit pour robinets

Selon la robinetterie, la réduction du débit volumique peut être problématique, ce dont il faut tenir compte avant la pose de réducteurs. Notamment pour les pommeaux de douche, les réducteurs de débit peuvent causer des variations de pression

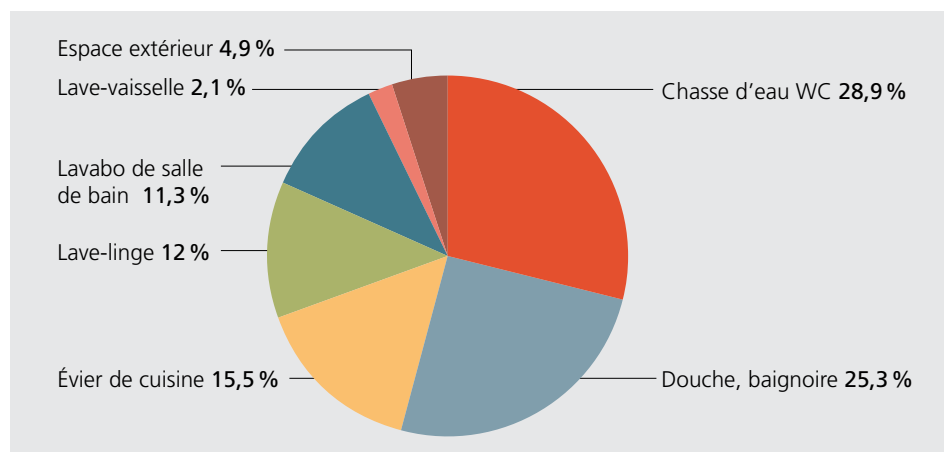


Illustration 3.19:  
Consommation  
d'eau en Suisse  
(Source: SSIGE)



et de température. Il s'est également avéré que les personnes avec des cheveux longs et épais consomment souvent plus d'eau avec une réduction de débit pour rincer les cheveux après les avoir lavés. Il n'est pas non plus recommandé de poser des réducteurs de débit à la cuisine.

Pour les lavabos par contre, les réducteurs ont fait leurs preuves. En raison de la réduction du débit, il faut juste s'assurer que les germes ne se développent pas de manière accrue dans les tuyaux de grand diamètre à la cave ou dans les colonnes montantes.

### Systèmes d'adoucissement

Vérifier d'office si les adoucisseurs d'eau sont véritablement nécessaires ou s'ils le sont toujours pour l'utilisation future, le cas échéant à l'aide de la notice technique SSIGE W 10027 (juin 2015). Si un adoucisseur d'eau est nécessaire, vérifier les points suivants:

- Assurer que les robinets de jardin ne sont pas alimentés via l'adoucisseur d'eau.
- Régler la régénération en principe à sept jours, en particulier en cas d'installations trop grandes, ceci pour économiser de l'eau et du sel. Dans les installations plus anciennes, la régénération est réglée uniquement en fonction du temps et non pas du débit volumique. Pour cette raison régler la régénération forcée toujours à sept jours.
- En absence d'exigences spéciales, régler la dureté résiduelle pour les appareils standards entre 12 à 15° f. Elle est souvent réglée trop bas, à moins de 12° f, ce qui utilise une plus grande capacité de l'adoucisseur et plus d'eau et de sel pour la régénération.

### Groupes de surpression

Pour les groupes de surpression, les mesures suivantes sont recommandées:

- Dimensionner le pic du débit volumique en fonction des besoins et non pas de la théorie. Les pompes du groupe de surpression fonctionnent ainsi de manière optimale au niveau énergétique. Par la suite, l'installation peut être optimisée sur la base de relevés de mesures.
- En présence d'installations anciennes, vérifier si un groupe de surpression est vé-

ritablement nécessaire ce qui est uniquement le cas si la pression d'alimentation est insuffisante pour remplir les besoins de l'utilisateur. Il est simple de clarifier ce point en relevant les heures de fonctionnement du groupe de surpression.

- De nombreux détendeurs sont réglés à une pression de maintien de 4 bar au lieu de 5. S'assurer toujours que la pression d'équilibre maximale de 5 bar peut être utilisée en réglant correctement le détendeur.
- En cas de pompes à augmentation de pression avec des durées de fonctionnement prolongées, vérifier s'il est possible de les compléter par un convertisseur de fréquence. Par contre, si la pompe à augmentation de pression est en fin de vie, la remplacer par une pompe avec un convertisseur de fréquence intégrée.

### Conduites d'eau froide

Isoler les conduites d'eau froide dans les zones accessibles au sous-sol et près des distributeurs d'étage si elles ne le sont pas encore. En présence d'une isolation plus faible que requise par les directives cantonales, compléter l'isolation. L'eau froide se réchauffe ainsi moins vite et les temps de réponse se raccourcissent. Selon la norme SIA 385/1 [1] et la directive SSIGE [2], l'eau froide stagnante ne doit pas pouvoir se réchauffer à plus de 25 °C.

### Filtres

Si le réseau de distribution nécessite des filtres, utiliser impérativement des filtres de lavage à contre-courant. Conformément à la directive de la SSIGE [2], les filtres à cartouches doivent être remplacés tous les 6 mois. Les filtres de lavage à contre-courant réduisent ainsi considérablement les coûts d'entretien, par contre ils doivent aussi être nettoyés régulièrement.

### Séparateurs de système

Dans le cadre d'une OéE, vérifier si les séparateurs de système sont exigés selon la directive de la SSIGE [3] et, si possible, les démonter. Cela permet de réduire les coûts d'exploitation, car un entretien annuel est obligatoire pour ces systèmes.

### Froid industriel et RC eau chaude sanitaire

Les installations frigorifiques d'un certain âge utilisent l'eau potable pour évacuer la chaleur, une eau potable rejetée ensuite dans la canalisation, ce qui n'est plus permis aujourd'hui. De telles installations peuvent éventuellement être équipées avec une RC qui préchauffe l'eau potable, par exemple. En présence d'une RC, vérifier son fonctionnement et son intégration correcte dans la production d'eau chaude.

### Stations de relevage pour eaux usées, en particulier avec des installations FEKA

Vérifier périodiquement la commande, y compris le flotteur (régulateur de niveau) des stations de relevage pour eaux usées. Vérifier en même temps l'installation par rapport à l'encrassement (puits de pompage) et la nettoyer si nécessaire. Cela améliore son efficacité. Des compteurs d'électricité séparés pour la pompe de relevage permettent de contrôler son fonctionnement.

### Air comprimé et RC

Les anciens générateurs d'air comprimé sont souvent refroidis avec l'eau du réseau d'eau potable. Ceci n'est actuellement plus permis parce que de l'eau potable est gaspillée en étant évacuée dans les eaux usées. Des exceptions sont admises, s'il s'agit d'un refroidissement d'urgence fonctionnant un nombre limité d'heures annuelles.

Les anciens générateurs d'air comprimé peuvent souvent être complétés par une RC de manière très raisonnable économiquement (illustration 3.20). La RC permet d'utiliser la chaleur qui est sinon évacuée à

l'extérieur par une conduite d'air. Dans la pratique, les rejets thermiques sont acheminés vers l'échangeur de chaleur à plaques, par exemple un accumulateur d'eau chaude sanitaire. D'expérience, environ 80 % des rejets thermiques deviennent ainsi utilisables pour l'eau chaude sanitaire (illustration 3.43 à la page 70) ce qui est très économique et judicieux dans le cas de l'OoÉ. Lors de l'ajout d'une RC, être toujours attentif à l'utilisation effective de la chaleur récupérée. C'est en général le cas si la consommation d'eau chaude est élevée. Toujours tenir compte de l'influence de la RC sur la stratification de température du volume total d'eau chaude dans tous les accumulateurs.

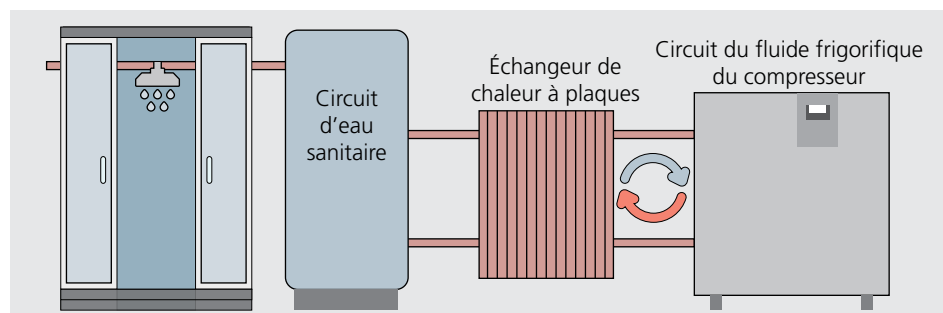
### Cuisines professionnelles

Clarifier avec les utilisateurs comment et où le nombre de robinets de puisage et les débits volumiques peuvent être réduits dans les cuisines professionnelles des hôtels, restaurants, bâtiments administratifs, etc. Alimenter avec de l'eau adoucie uniquement les appareils pour lesquels elle est effectivement exigée par le fabricant ou le cuisiniste. L'eau adoucie est plus de deux fois plus chère que l'eau non traitée, elle doit être utilisée avec modération. Dans la pratique, les lave-verres fonctionnent souvent avec de l'eau osmosée pour supprimer le séchage des verres ce qui peut être judicieux du point de vue économique.

### Installation d'arrosage

Les installations d'arrosage pour terrains de sport, terrains de golf, mais aussi dans le domaine agricole utilisent énormément d'eau. Il est énergétiquement judicieux d'équiper ces installations avec des minuteries si nécessaire. Il va de soi que les minu-

Illustration 3.20:  
Alimentation en eau chaude avec intégration schématique d'une RC pour l'installation de production d'air comprimé.



teries doivent être programmées correctement. En outre, il faut se poser la question si les volumes d'eau consommés sont effectivement nécessaires. Assurer également que les installations ne sont pas mises inutilement en marche avant une pluie ou un orage. Équiper les points de puisage avec des sous-compteurs est économiquement judicieux pour éviter que des taxes sur l'eau usée alourdissent encore la facture.

### Installations de récupération des eaux pluviales

Lors d'une O&E, réguler correctement la commande des installations existantes. Réalimenter en eau potable uniquement si cela est inévitable et non à l'avance comme réserve. A cet effet, le flotteur régulateur de niveau «marche alimentation d'urgence» doit être réglé au plus bas et surveillé lors de la prochaine pluie. L'installation doit être régulièrement entretenue (filtres, etc.).

## 3.6 Ventilation

### Zones d'utilisation

Une ventilation doit remplir des exigences variables en fonction de l'affectation ceci afin de satisfaire les utilisateurs. Il s'agit en général des exigences suivantes:

- Amener de l'air frais dans les locaux
- Évacuer les gaz responsables de l'apparition de mauvaises odeurs
- Amener ou évacuer les charges thermiques dans les locaux
- Amener ou évacuer l'humidité dans l'air ambiant
- Évacuer les polluants de l'air ambiant
- Fournir les quantités d'air requis pour certains procédés industriels

Afin de couvrir les besoins des utilisateurs, une installation de ventilation doit remplir au moins une de ces six exigences.

Les indicateurs associés permettent de déterminer le degré de réalisation des exigences fixées pour la ventilation. Voici les indicateurs déterminants pour les ventilations:

- Concentration en CO<sub>2</sub>
- Concentration en VOC
- Température de l'air ambiant
- Humidité de l'air ambiant
- Concentration des polluants

En fonction du type d'utilisation, ces indicateurs doivent répondre aux valeurs limites définies par la loi, les normes et directives, ou encore aux valeurs cibles définies par le propriétaire de l'immeuble. Le débit d'air nécessaire est calculé par zone d'utilisation sur la base de ces valeurs (tableau 3.3).

Dans la pratique, les débits d'air déterminés dans la planification ne correspondent souvent pas aux besoins des utilisateurs. Ils sont souvent trop élevés.

Le tableau 3.3 liste les indicateurs déterminants, les valeurs limites et cibles correspondantes selon les normes et donne les formules de calcul nécessaires. Si, pour un indicateur, il n'y a pas de sondes installées, la valeur est saisie par un enregistreur de données au moyen de capteurs mobiles pendant une période de mesure perti-

**Matthias Balmer**

nente. La représentation graphique des indicateurs met en évidence des écarts éventuels par rapport à la zone de confort et aux exigences (illustration 3.22).

Un débat récurrent existe sur la concentration de CO<sub>2</sub> convenable dans les locaux. L'illustration 3.21 montre dans quelle mesure le choix de la valeur limite de CO<sub>2</sub> influence l'énergie nécessaire à l'acheminement de l'air. Elle met en évidence que la concentration maximale admise en CO<sub>2</sub>

doit être fixée avec mesure, mais en tenant compte des différentes utilisations des locaux.

### Comportement des utilisateurs et humidité

Les utilisateurs doivent être sensibilisés à l'influence de leur comportement sur le confort dans la pièce et sur les consommations d'énergie. Ouvrir les fenêtres pendant la période de chauffage réduit par exemple

Exigence de la zone d'utilisation	Indicateur	Unité	Valeurs limites issues de	Calcul du débit d'air en m <sup>3</sup> /h	Calcul de l'indicateur
Besoin en air frais	Concentration de CO <sub>2</sub> local	ppm	SIA 180:2014, SIA 382/1:2014	$\dot{V}_P = \frac{\dot{K}}{k_{INT} - k_{ANF}} \cdot n_P$	$k_{INT} = \frac{\dot{V}_P \cdot k_{ANF} + \dot{K} \cdot n_P}{\dot{V}_P}$
Évacuation de gaz responsables de l'apparition de mauvaises odeurs	Concentration des mélanges de gaz (VOC = Volatile Organic Compounds)	ppm	Indications des utilisateurs	$\dot{V}_G = \frac{G}{C_{max} - C_{ANF}}$	$C_{max} = \frac{\dot{V}_G \cdot C_{ANF} + G}{\dot{V}_G}$
Apport ou évacuation de charges thermiques dans les locaux	Température de l'air ambiant	°C	SIA 180:2014 CT SIA 2024:2015	$\dot{V}_Q = \frac{\dot{Q}_{local}}{\rho \cdot c_p \cdot (t_{FOU} - t_{INT})}$	$t_{INT} = t_{FOU} - \frac{\dot{Q}_{local}}{\dot{V}_Q \cdot \rho \cdot c_p}$
Apport ou évacuation de l'humidité de l'air ambiant	Humidité de l'air ambiant	% h. r.	SIA 180:2014, SIA 382/1:2014 CT SIA 2024:2015	$\dot{V}_W = \frac{\dot{W}_{local}}{\rho \cdot (x_{FOU} - x_{INT})}$	$x_{INT} = x_{FOU} - \frac{\dot{W}_{local}}{\dot{V}_W \cdot \rho}$
Évacuation de polluants de l'air ambiant	Valeur VME (valeur maximale d'exposition aux postes de travail)	ppm	Valeurs limites de la Suva	$\dot{V}_G = \frac{G}{C_{max} - C_{ANF}}$	$C_{max} = \frac{\dot{V}_G \cdot C_{ANF} + G}{\dot{V}_G}$
Respect des processus techniques de ventilation	En fonction du processus		Indications des utilisateurs, législation spécifique, directives normes		

#### Légende

$\dot{V}_P$	<b>Besoin en air frais des personnes</b>	$\frac{m^3}{h}$	$\dot{V}_Q$	<b>Débit d'air nécessaire pour l'apport ou l'évacuation de charges thermiques du local</b>	$\frac{m^3}{h}$
$\dot{K}$	Volume de CO <sub>2</sub> expiré par personne	$\frac{l}{h}, \frac{m^3}{h}$	$\dot{Q}_{local}$	Charge thermique sensible du local	W
$k_{INT}$	Concentration de CO <sub>2</sub> admise dans l'air ambiant	ppm, $\frac{mg}{kg}$	$\rho$	Densité de l'air	$\frac{kg}{m^3}$
$k_{ANF}$	Concentration de CO <sub>2</sub> de l'air frais / air extérieur	ppm, $\frac{mg}{kg}$	$c_p$	Capacité thermique massique de l'air à pression constante	$\frac{J}{kg \cdot K}$
$n_P$	Nombre de personnes	–	$t_{FOU}$	Température de l'air fourni	°C
$\dot{V}_G$	<b>Débit d'air nécessaire pour l'évacuation de gaz responsables de l'apparition de mauvaises odeurs et de polluants</b>	$\frac{m^3}{h}$	$t_{INT}$	Température de l'air ambiant	°C
$G$	Production d'émissions d'effluents dans le local	olf, $\frac{l}{h}, \frac{m^3}{h}$	$\dot{V}_W$	<b>Débit d'air nécessaire pour l'apport ou l'évacuation d'humidité de l'air ambiant</b>	$\frac{m^3}{h}$
$C_{max}$	Concentration admise dans le local	pol, ppm, $\frac{kg}{m^3}, \frac{m^3}{h}$	$\dot{W}_{local}$	Charges d'humidité dans le local	$\frac{kg}{h}$
$C_{INF}$	Concentration dans l'air frais / l'air neuf	pol, ppm, $\frac{kg}{m^3}, \frac{m^3}{h}$	$x_{FOU}$	Humidité de l'air absolue de l'air fourni	$\frac{kg}{kg}$
			$x_{INT}$	Humidité de l'air absolue du local	$\frac{kg}{kg}$

Tableau 3.3: Exigences potentielles pour une installation de ventilation avec indicateurs et calculs de débit d'air.

l'humidité de l'air intérieur. Réduire la température ambiante, la fait diminuer également. Voici quelques données de référence:

■ Le besoin annuel de chaleur pour le renouvellement d'air par personne (à 30 m<sup>3</sup>/h) est de 25 à 50 kWh, si la température de l'air fourni doit être au maximum de 20 °C (base: valeurs horaires, scénario futur IPCC AR4 A1B 2020 de Meteonorm 7.3.1 de Zurich-Kloten).

■ Sans récupération d'humidité, environ 25 kWh de chaleur supplémentaire par an sont nécessaires sur le plateau suisse pour maintenir l'humidité de l'air intérieur à au moins 30 % h.r. avec une température de l'air intérieur de 22 °C.

■ Si l'air est humidifié davantage, le besoin augmente par tranche de 5 % h.r. de 40 à 80 % (calculé sur la base des données climatiques horaires pour une utilisation de bureau selon CT SIA 2024).

■ Si la température de l'air intérieur est augmentée en maintenant l'humidité relative à 30 %, les consommations annuelles d'énergie thermique augmentent de 15 à 30 % par K.

Qu'est-ce que cela signifie? Une teneur élevée en humidité de l'air intérieur en hiver induit des consommations d'énergie très importantes. Si certaines zones d'utilisation nécessitent une humidité de l'air intérieur plus élevée, il est recommandé d'humidifier ces zones de manière décentralisée et non pas par la centrale de ventilation. Les jeux d'eau, les plantes, les humidificateurs hygiéniquement adaptés et autres charges

d'humidité permettent de réaliser une humidification décentralisée.

Si en raison de la ventilation, l'air des zones d'utilisation risque de se dessécher pendant la période de chauffage, il est possible selon la norme SIA 382/1 de réduire le débit d'air jusqu'à 50 % lors de températures extérieures inférieures à 0 °C. Cependant, cela nécessite très souvent un deuxième circuit de régulation qui surveille l'humidité de l'air intérieur et réduit au besoin le débit d'air neuf. L'illustration 3.23 montre l'interaction des deux circuits de régulation pour commander le débit d'air.

Si non seulement les installations de ventilation, respectivement les clapets de régulation, mais encore le traitement de l'air sont équipés de programmes gérés par une minuterie, ils doivent être harmonisés entre eux. Ceci pour garantir une ventilation des différentes zones d'utilisation seulement si la centrale principale de traitement d'air est enclenchée. Il va de soi que les horaires de fonctionnement programmés doivent également refléter l'utilisation efficace de la zone.

### Distribution d'air

En termes de distribution d'air, deux paramètres influencent en particulier l'efficacité énergétique du transport d'air:

- Les fuites dans les gaines de ventilation
- Les accessoires posés à l'intérieur des gaines

Selon la SIA 382/1, le taux de fuite de la distribution d'air ne doit pas dépasser 6 % du débit volumique global. Un taux de

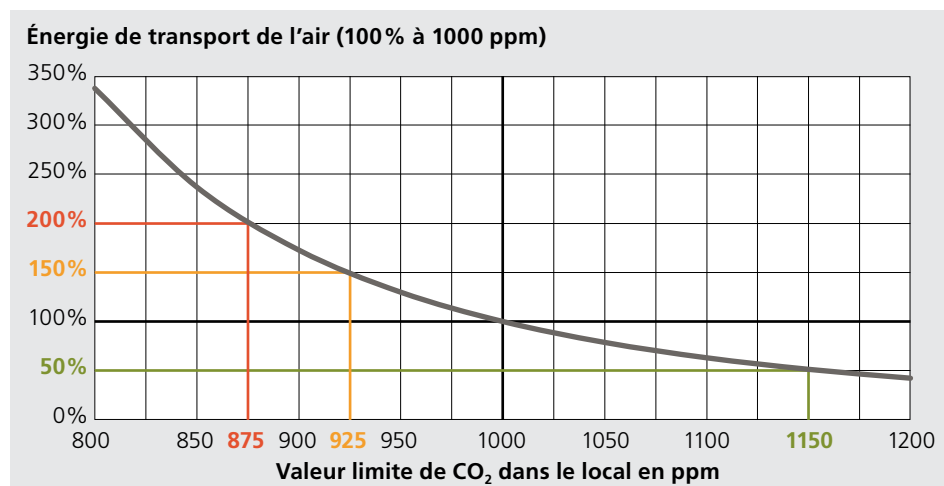


Illustration 3.21: Rapport théorique entre la concentration en CO<sub>2</sub> dans l'air ambiant et les besoins en énergie de transport de l'air.

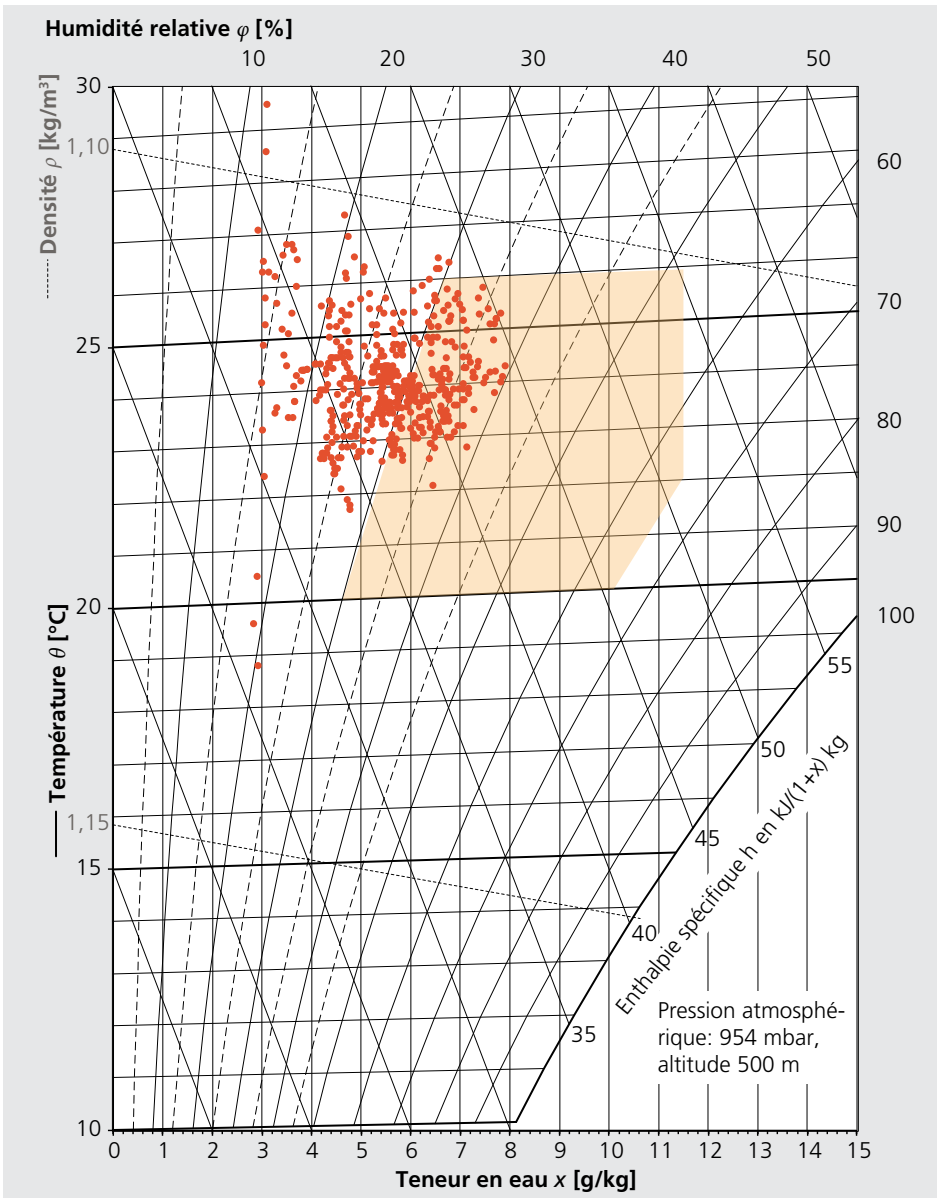


Illustration 3.22: Exemple bureaux - valeurs horaires de température et d'humidité ambiantes reportées dans le diagramme  $h,x$  avec zone de confort (orange clair).

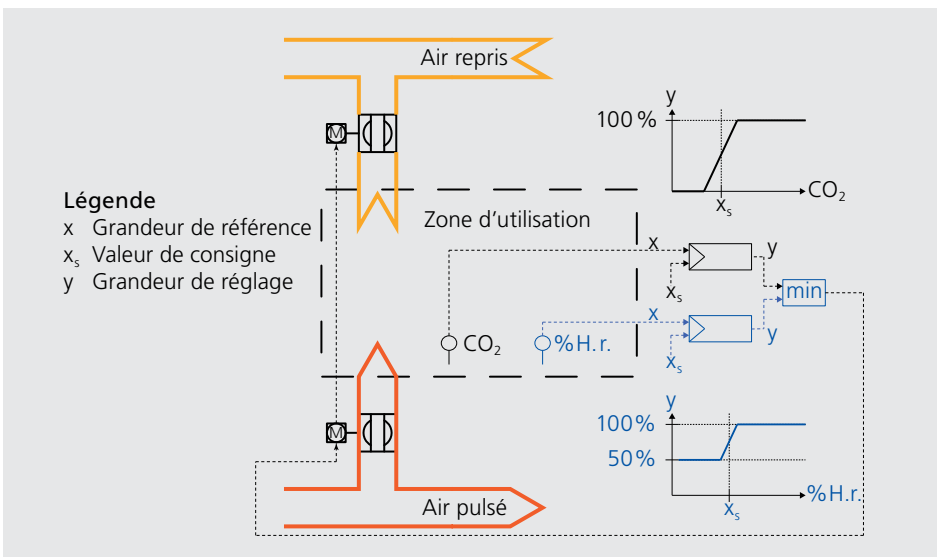


Illustration 3.23: Exemple d'une stratégie de régulation du débit d'air pendant la période de chauffage.

fuite de 6 % implique une perte d'énergie de 19 % en raison d'un volume d'air plus important à transporter. Les 6 % d'air à acheminer interagissent à la puissance trois sur les besoins en puissance, respectivement en énergie du ventilateur.

$$E = P \cdot \Delta t$$

$$\rightarrow P = \frac{E}{\Delta t}$$

$$P_2 = P_1 \cdot \left(\frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_1}\right)^3$$

$$\frac{E_2}{\Delta t} = \frac{E_1}{\Delta t} \cdot \left(\frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_1}\right)^3$$

$$E_2 = E_1 \cdot \left(\frac{\dot{V}_2}{\dot{V}_1}\right)^3$$

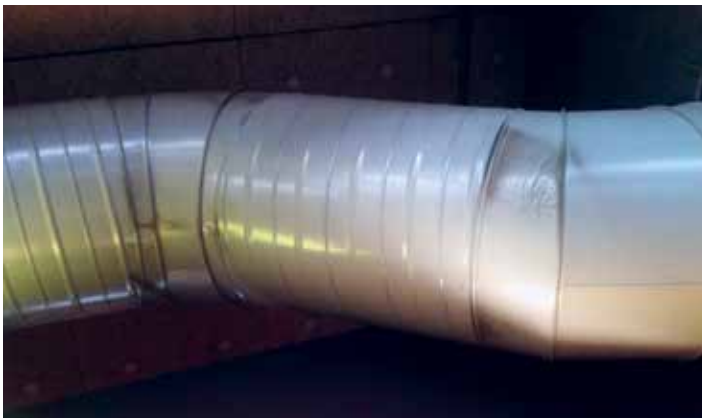
$$E_2 = 1 \cdot \left(\frac{1,06}{1}\right)^3 = 1,19$$

E	Énergie [Wh]
P	Puissance [W]
$\Delta t$	Durée de fonctionnement [h]
$\dot{V}$	Débit d'air [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

Les fuites se produisent surtout aux raccords entre tuyaux ou conduites.

Des accessoires sont posés dans les conduites tels que clapets de régulation, clapets de réglage ainsi que clapets coupe-feu, régulateurs de débit ou amortisseurs. Surtout en présence de bâtiments anciens avec des changements d'affectation, vérifier si tous ces accessoires, notamment les amortisseurs, sont toujours indispensables pour un fonctionnement adapté aux utilisateurs. Le cas échéant, un débit d'air réduit par rapport à la planification permet de redimensionner ou même de supprimer les amortisseurs de bruit.

**Illustration 3.24:**  
Fuites aux raccords entre tuyaux, perceptibles grâce aux dépôts de poussière.



### Traitement d'air

Le tableau 3.4 montre les potentiels d'économie par rapport à différents agents énergétiques et par composants d'une installation de traitement d'air. Dans le cadre d'une OéE, il s'agit de vérifier si les heures de fonctionnement de l'installation correspondent aux utilisations dans les zones. Il arrive que le programme de minuterie ne prévoie pas des réglages spécifiques pour les différents jours de la semaine ou encore les jours fériés. Pour des traitements d'air en cascade, la régulation doit être harmonisée par rapport à l'utilisation au moyen de la programmation de la minuterie. Les possibilités de réduction du débit d'air dépendent de l'utilisation. Il existe en principe trois types d'alimentation:

1. Zones non régulées avec un débit d'air constant déterminé par le traitement d'air.

**Tableau 3.4:**  
Points de départ potentiels pour la réduction des besoins en énergie avec les types d'énergie respectifs.

Composant	Potentiels d'optimisat.	Type d'énergie
Ventilateur	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Heures de fonctionnement</li> <li>• Réduction du débit d'air</li> <li>• Efficacité (SFP)</li> <li>• Encrassement des prises d'air extérieur</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Énergie électrique</li> </ul>
Récupération de chaleur (RC)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rendements</li> <li>• Encrassement</li> <li>• Fuites d'air</li> <li>• Protection antigel</li> <li>• Régulation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Énergie thermique</li> <li>• Énergie électrique</li> <li>• Eau</li> </ul>
Aérochauffeurs, refroidisseurs d'air	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Encrassement</li> <li>• Étanchéité de la vanne de régulation de l'eau chaude de la pompe/de l'eau froide de la pompe</li> <li>• Heures de fonctionnement de la pompe interne</li> <li>• Isolations eau chaude de la pompe/eau froide de la pompe</li> <li>• Régulation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Énergie thermique</li> <li>• Énergie électrique</li> </ul>
Humidificateur	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rinçage</li> <li>• Régulation</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Énergie thermique</li> <li>• Eau</li> <li>• Énergie électrique</li> </ul>
Filtres à air	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Intervalle changements de filtres</li> <li>• Classes de filtres</li> <li>• Classes d'efficacité énergétique</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Énergie électrique</li> </ul>

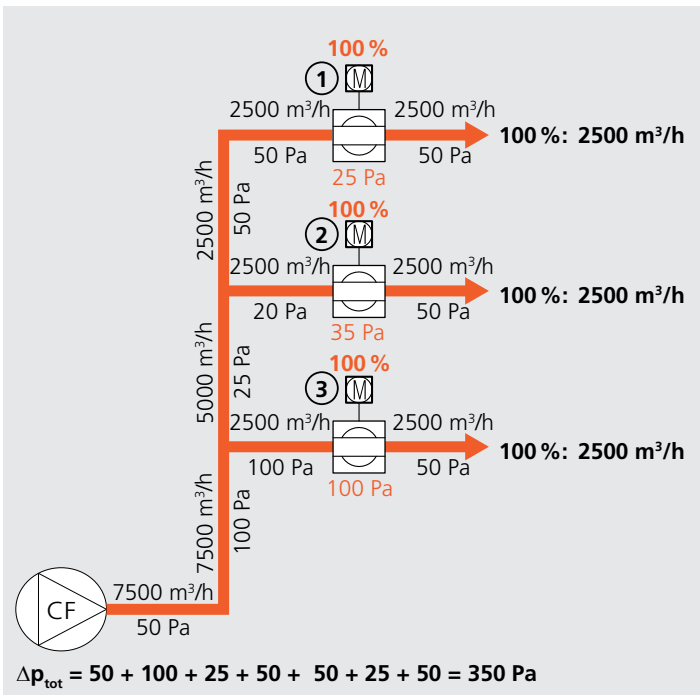
2. Régulation constante des zones avec débits d'air constants déterminés par zones.
3. Régulation en fonction du besoin des zones avec débits d'air variables déterminés par le climat intérieur des zones.

Il existe trois principes en matière de régulation du débit d'air:

- a) ventilateur à vitesse fixe
- b) ventilateur à plusieurs vitesses
- c) ventilateur à vitesse variable

**Cas a):** les ventilateurs à vitesse fixe sont adaptés pour les zones d'utilisation de type 1 et 2. Pour les ventilateurs avec entraînement à courroies, le débit d'air dépend du rapport de transmission et peut être modifié en changeant le diamètre de la roue d'entraînement du moteur et du ventilateur. En cas de surdimensionnement du ventilateur à vitesse fixe, la régulation peut être réglée sur mode intermittent (au lieu de continu), afin de satisfaire les besoins effectifs des utilisateurs. Dans ce cas, ils sont gérés par une minuterie ou par des paramètres liés à la qualité de l'air.

*Illustration 3.25:*  
Exemple d'augmentation de pression du ventilateur, dimensionnement à 100 %.

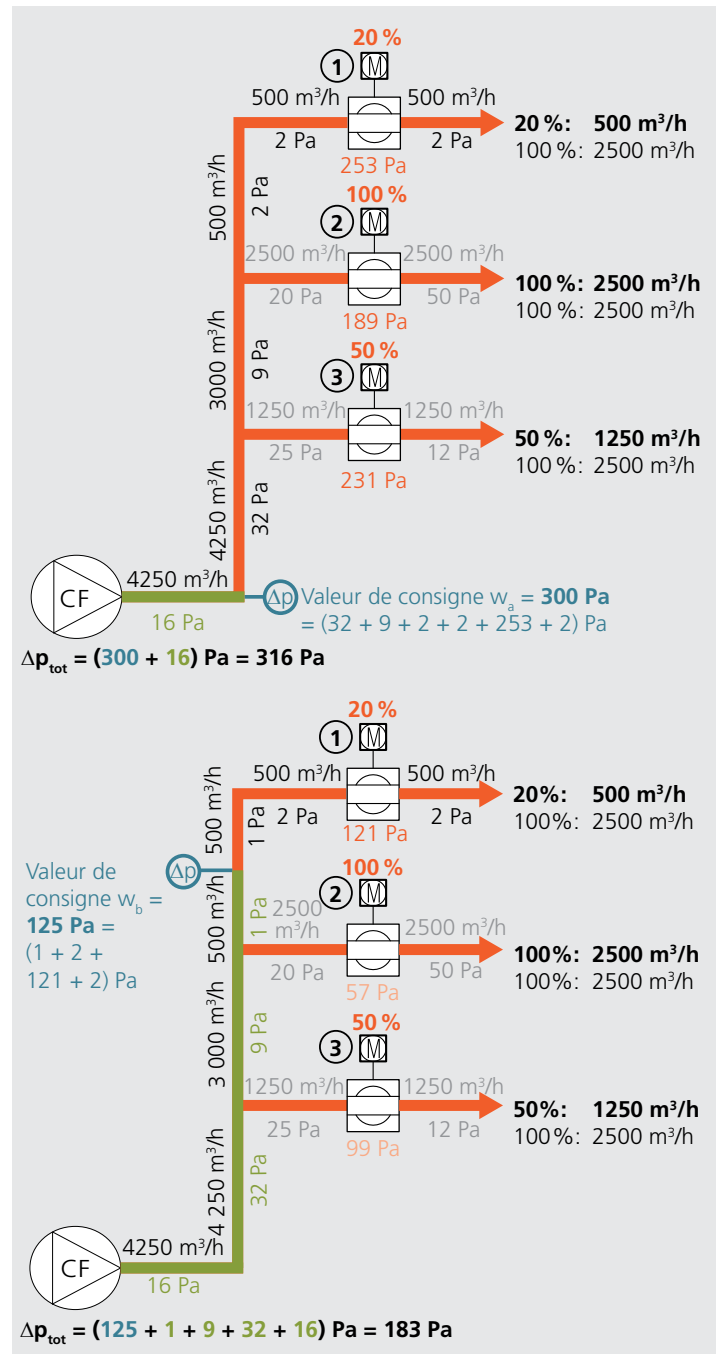


**Cas b):** les ventilateurs à plusieurs vitesses sont adaptés pour les zones d'utilisation de type 1. Les adaptations de débits d'air s'effectuent de manière analogue au cas a).

**Cas c):** pour les installations plus récentes, un convertisseur de fréquence (CF) régule le régime du ventilateur et par conséquent le débit d'air transporté. Il existe deux stratégies de régulation:

- Régulation par différence de pression dans le réseau de gaines.
- Régulation par positions de clapet dans les zones d'utilisation en cas de systèmes à débit variable (Variable Air Volume, VAV).

*Illustration 3.26:*  
Exemple d'augmentation de pression du ventilateur en cas de charge partielle. Variante a (en haut): sonde de pression près du ventilateur. Variante b (en bas): sonde de pression dans le réseau de conduites.





La régulation des ventilateurs par positions de clapet VAV est énergétiquement idéale, car la pression pour faire circuler l'air reste minimale. C'est le régulateur VAV avec le besoin le plus élevé qui détermine la pression dynamique du ventilateur. Étant donné que ce besoin fluctue en fonction de l'occupation des locaux, l'alimentation du VAV avec exigence maximale est assurée. En parallèle, les autres régulateurs VAV doivent seulement réduire une augmentation de pression. La régulation par différence de pression dans le réseau de gaines offre deux possibilités d'optimisation (illustration 3.26). Premièrement par le positionnement de la sonde de pression: plus elle est éloignée de la centrale de traitement d'air, plus la perte de pression est correctement prise en compte dans le réseau en cas de débit volumique variable. Le positionnement optimal de la sonde de pression permet de réduire l'énergie de transport de l'air jusqu'à 25% pour les zones avec des charges d'exploitation faibles.

Deuxièmement, si la sonde de pression est placée correctement et son bon fonctionnement assuré, il faut régler la pression de consigne au minimum nécessaire. Afin de la déterminer, toutes les zones sont réglées sur un débit d'air maximal. Ensuite le débit d'air est réduit à la centrale de traitement d'air jusqu'à ce que le régulateur dans l'embranchement avec la plus grande perte de pression ne travaille plus dans la plage de régulation. Additionner à la valeur relevée à la sonde de pression 5% pour obtenir la valeur de consigne optimale.

L'efficacité énergétique des ventilateurs est évaluée au moyen de la valeur SFP (Specific Fan Power) selon la SIA 382/1 (illustration 3.27). Elle doit être vérifiée en mesurant le volume d'air transporté à pleine charge et en relevant parallèlement la puissance du ventilateur. La SFP englobe l'efficacité énergétique de l'entier du système de ventilation alimenté. Le rendement global du ventilateur se compose des rendements partiels suivants

- Ventilateur ( $\eta_V$ )
- Moteur ( $\eta_M$ )
- Transmission ( $\eta_{Tr}$ )
- CF ( $\eta_R$ )

Sans subventions, le remplacement de ventilateurs par des modèles plus efficaces (moteurs inclus) n'est pas amorti dans les 2 ans usuels pour une OéE. La situation est évidemment différente lorsqu'un ventilateur a déjà dépassé sa durée de vie moyenne.

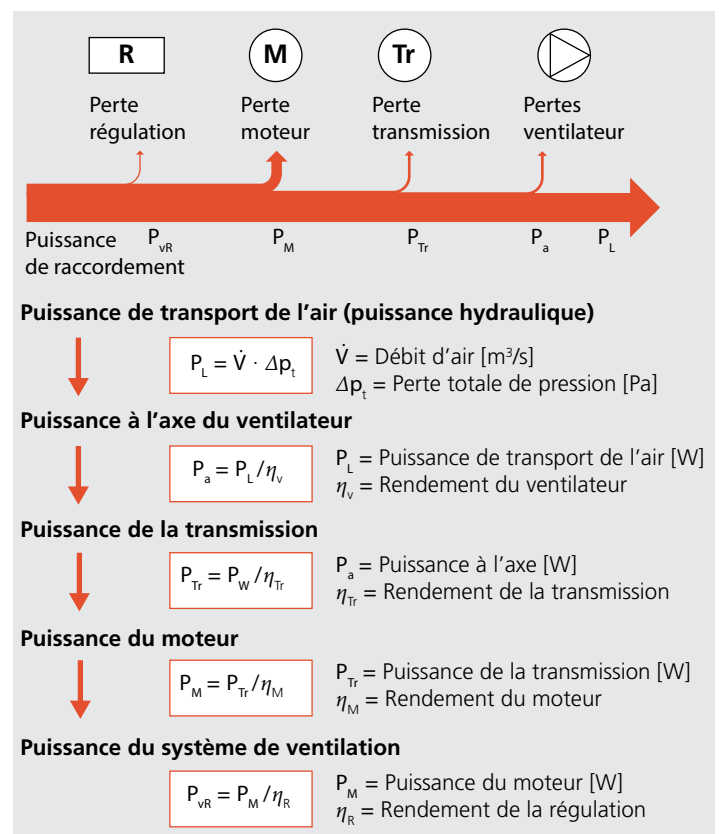
Par contre, remplacer un entraînement à courroies trapézoïdales par un entraînement à courroies plates est souvent déjà rentable à court terme. Selon la fiche technique 24 de topmotors.ch, le rendement des courroies plates est jusqu'à 10% plus élevé que celui des courroies trapézoïdales. C'est particulièrement vrai en charge partielle (illustration 3.28).

Les prises d'air extérieur encrassées causent souvent des pertes de charge accrues. Une mesure souvent simple, mais efficace consiste à les nettoyer.

### Efficacité thermique

La récupération de chaleur (RC) est l'élément central pour l'efficacité énergétique thermique des systèmes de traitement d'air. En fonction du type de RC, différents points de départ sont possibles dans le

*Illustration 3.27: Diagramme des puissances absorbées pour déterminer le SFP d'un ventilateur.*



cadre d'une OéE. Le coefficient de récupération de chaleur  $\Phi$  et le coefficient de récupération d'humidité de la ventilation  $\Psi$  sont déterminants pour l'efficacité de tous les systèmes de RC. Le coefficient de récupération de chaleur minimal est de 70 % selon la SIA 382/1, respectivement de 75 % selon Minergie et la Société à 2000 watts. Les mesures sont effectuées à une température de l'air extérieur de 5 °C. Les températures et les volumes de l'air repris (REP), de l'air fourni (FOU) et de l'air neuf (ANF) sont mesurés directement après la RC afin de déterminer le coefficient de récupération de chaleur. Le coefficient de récupération de chaleur est calculé de la manière suivante si le volume d'air fourni et le volume d'air repris sont identiques:

$$\phi = \frac{t_{\text{FOU}} - t_{\text{ANF}}}{t_{\text{REP}} - t_{\text{ANF}}} \cdot 100 \%$$

Voici la formule pour le coefficient de récupération d'humidité de la ventilation:

$$\Psi = \frac{X_{\text{FOU}} - X_{\text{ANF}}}{X_{\text{REP}} - X_{\text{ANF}}} \cdot 100 \%$$

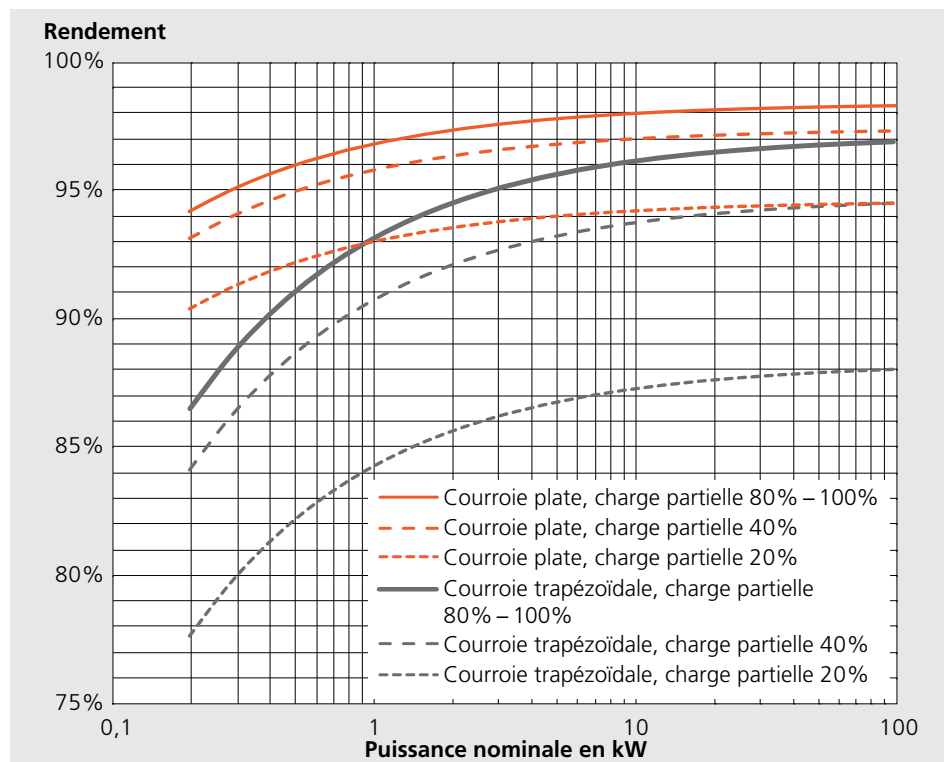
- $\Phi$  Coefficient de récupération de chaleur [%]
- $\Psi$  Coefficient de récupération d'humidité de la ventilation [%]
- $t$  Température de l'air [°C]
- $x$  Humidité absolue de l'air [kg/kg]

Les potentiels d'optimisation en termes de fuites, de protection contre le gel et de régulation diffèrent selon le type de RC. Le tableau 3.5 montre les types de RC les plus courants.

■ **Les systèmes RC de type «régénérateur»** se basent sur le principe de transfert de chaleur par la masse. La masse thermique est en contact avec les deux flux d'air – air extérieur et air fourni. Il en résulte un effet d'entraînement et une perte pour régénérer la roue. Avec les systèmes RC rotatifs, les joints d'étanchéité radiaux et transversaux sont source de fuites supplémentaires (illustration 3.29). Au total, la proportion de fuites peut se situer entre 5 % et 10 %. La qualité des joints peut être vérifiée visuellement, au moyen par exemple d'un rétroéclairage des fentes.

■ **Les systèmes RC de type «récupérateur»** transfèrent la chaleur au moyen de plaques de séparation: lorsqu'en hiver l'air

Illustration 3.28:  
Rendements de transmission de courroies trapézoïdales et plates selon la puissance nominale du moteur et la charge (entraînement à 1 courroie).  
(Source: Suisse Energie, topmotors.ch; fiche technique 24, novembre 2012)



extrait refroidit beaucoup à l'intérieur de la RC, son humidité condense sur les parois. Si le condensat gèle suite à des températures très basses, la glace réduit la section de l'échangeur de chaleur côté air extrait et la perte de charge augmente.

■ C'est aussi pour cette raison que les échangeurs de chaleur à plaques sont souvent équipés d'une déviation de l'air neuf qui est gérée par la régulation et qui agit comme protection contre le gel. A ce moment, le coefficient de récupération de chaleur baisse et une éventuelle batterie de chauffe placée après l'échangeur augmente la puissance consommée.

■ Le fonctionnement en mode antigel est similaire pour une RC avec un système relié par circuit intermédiaire. A l'opposé d'un by-pass côté air, un by-pass dans le circuit intermédiaire diminue la performance de la RC. Les deux systèmes empêchent le gel de l'eau de condensation. Cependant, quelques cantons interdisent l'utilisation d'un by-pass RC hivernal pour les échangeurs de chaleur à plaques. Ils accordent plus de poids à la puissance supplémentaire de la RC qu'à la consommation d'électricité supplémentaire du ventilateur due à la perte de charge par givrage. Quoi qu'il en soit, il est judicieux de vérifier si le mode antigel est désactivé ou au moins si son utilisation peut être réduite.

Pour l'échange optimal de chaleur entre l'air et le circuit intermédiaire d'une RC à circuit fermé, le rapport énergétique des flux doit être d'environ 1:1. Si les débits d'air fournis sont approximativement égaux aux débits d'air repris, alors:

$$\dot{m}_L \cdot c_{p,L} = \dot{m}_{WG} \cdot c_{p,WG}$$

$\dot{m}_L$	Débit massique d'air [kg/s]
$c_{p,L}$	Enthalpie spécifique de l'air [kJ/kg K]
$\dot{m}_{WG}$	Débit massique du mélange eau-glycol [kg/s]
$c_{p,WG}$	Capacité thermique spécifique du mélange eau-glycol [kJ/kg K]

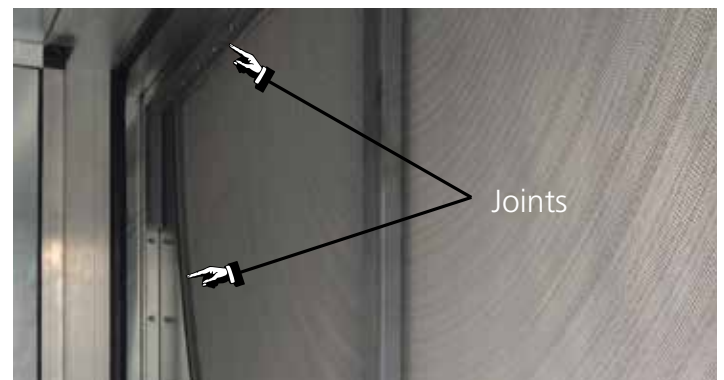
En raison des différentes capacités thermiques, le débit massique de l'air est 3,7 fois plus élevé que le débit massique du mélange eau-glycol avec une part de glycol de 25 %. Les installations de ventilation actuelles sont exploitées en fonction des besoins. Par contre le débit massique de la RC à circuit fermé est souvent constant. Si la pompe de la RC à circuit fermé est régulée par un convertisseur de fréquence, le débit massique du mélange eau-glycol peut être réglé en fonction du volume d'air. À une température extérieure de 5°C et sans convertisseur de fréquence, régler le débit massique du mélange eau-glycol au moyen du régime de la pompe par rapport à un volume moyen estimé selon un facteur de simultanéité. Le taux de récupération diminue en fonction de l'augmentation du débit massique puisque la durée de contact avec les plaques de l'échangeur de chaleur est raccourcie. L'intégration de la RC dans les séquences de réglage du traitement de l'air influence par conséquent fortement la fraction utile annuelle. L'illustration 3.30 montre une suite de séquences usuelles pour la régulation de température d'un système de traitement d'air typique.

Le comportement de réglage des batteries de chauffe et de refroidissement en mode de pleine charge et de charge partielle indique si les vannes et les échangeurs de

Tableau 3.5:  
Types usuels de RC,  
avec et sans récupération d'humidité.

	Sans récupération d'humidité	Avec récupération d'humidité
RC de type «régénérateur»	Rotor à condensation	Rotor à sorption
	Accumulateur thermique	Accumulateur thermique
RC de type «récupérateur»	Échangeur de chaleur à plaques	Échangeur de chaleur à plaques
	Système relié par circuit intermédiaire	

Illustration 3.29:  
Joints à brosses, système RC rotatif.



chaleur sont dimensionnés correctement par rapport au besoin en puissance. Les instabilités de réglage importantes indiquent un surdimensionnement. Les instabilités de réglage sont énergivores. Réduire la température de l'eau chaude de la pompe de la batterie de chauffe, améliore les caractéristiques de régulation et le cas échéant la performance de la production de chaleur. L'inverse se produit pour les refroidisseurs d'air. Les températures d'eau froide de la pompe doivent ici être réglées aussi élevées que possible. Si une déshumidification est nécessaire, s'assurer que les températures d'eau froide de la pompe sont réglées vers le bas, uniquement en cas de déshumidification et pas en cas de refroidissement sans condensation. Les mesures en matière de régulation de l'humidification ont une grande influence sur les besoins en énergie thermique, voir paragraphe «Comportement des utilisateurs et humidité».

### Filtres à air

Les filtres à air influencent également la consommation d'énergie pour le transport de l'air. Les filtres doivent être remplacés en principe dès que leur perte de pression a doublé, comparée à l'état neuf. Il est particulièrement judicieux de changer les filtres au printemps. C'est précisément à cette saison qu'ils sont énormément sollicités par le pollen.

La qualité des filtres est choisie selon la VDI 6022-1:2018. Le tableau 3.6 liste les classes de filtres recommandées en fonction de la qualité de l'air extérieur effective et de la qualité exigée de l'air fourni.

L'évaluation de la qualité de l'air extérieur est basée sur les valeurs limites de l'OMS pour poussières fines. Le tableau 3.7 liste les valeurs limites concrètes de l'air extérieur. En Suisse, les stations de mesures suivantes déterminent les concentrations de poussières fines:

- NABEL de l'OFEV, [www.bafu.admin.ch](http://www.bafu.admin.ch)
- ARIAS, [www.arias.ch](http://www.arias.ch)
- Diverses données régionales telles que par exemple [www.in-luft.ch](http://www.in-luft.ch) et [umweltzentralschweiz.ch](http://umweltzentralschweiz.ch)

La qualité exigée de l'air fourni est définie dans la VDI 3803-4:2018 (projet), voir tableau 3.8. L'encrassement des filtres et la qualité de l'air extérieur permettent d'évaluer si les classes de filtres utilisées sont correctes. Les filtres plus fins conduisent souvent à une perte de pression plus importante et par conséquent à une consommation d'énergie plus élevée. Toutefois, ils améliorent aussi la qualité de l'air et diminuent les besoins d'humidification.

En plus du choix de la classe des filtres, les classes d'efficacité énergétique Eurovent jouent un rôle important pour la consommation d'énergie (illustration 3.31). La plus grande économie d'énergie est réalisable en sélectionnant correctement les filtres fins au pouvoir de séparation élevé. Les bons produits peuvent être de 50 % plus efficaces que les mauvais. Pour les filtres grossiers au pouvoir de séparation peu élevé, le choix de la classe d'efficacité influence moins la consommation d'énergie, mais à un degré toujours perceptible.

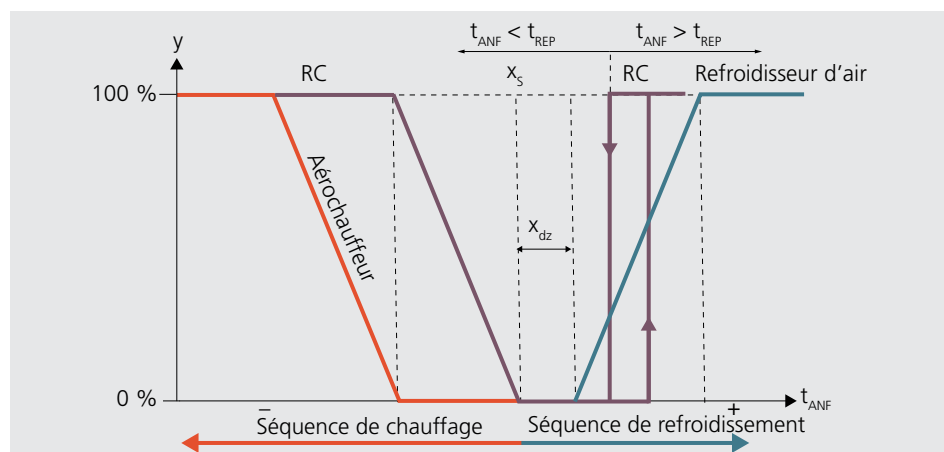


Illustration 3.30:  
Diagramme des séquences de régulation de température pour un traitement de l'air.

Qualité de l'air extérieur	FOU 1 (accrue)	FOU 2 (élevée)	FOU 3 (moyenne)
ANF 1 (propre)	ISO ePM10 50 % + ISO ePM1 50 %	ISO ePM1 50 %	ISO ePM1 50 %
ANF 2 (contaminé)	ISO ePM2,5 65 % + ISO ePM1 50 %	ISO ePM10 50 % + ISO ePM1 50 %	ISO ePM10 50 % + ISO ePM1 50 %
ANF 3 (très contaminé)	ISO ePM1 50 % + ISO ePM1 80 %	ISO ePM2,5 65 % + ISO ePM1 50 %	ISO ePM10 50 % + ISO ePM1 50 %

Tableau 3.6:  
Classes recommandées de filtres en fonction de la qualité de l'air neuf et de l'air fourni selon VDI 6022-1:2018.

Qualité de l'air neuf en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	PM2,5/an	PM2,5/24 h	PM10/an	PM10/24 h
ANF 1 (propre)	< 10	< 25	< 20	< 50
ANF 2 (contaminé)	< 15	< 37,5	< 30	< 75
ANF 3 (très contaminé)	> 15	> 37,5	> 30	> 75

Tableau 3.7:  
Valeurs limites pour la détermination de la qualité de l'air neuf selon VDI 6022-1:2018.

Dénomination	Qualité de l'air fourni	Recommandé pour	Exemples
FOU 1	Accrue	Locaux utilisés par des personnes présentant un risque sanitaire élevé	Salles de soins et de soins intensifs avec des exigences accrues
		Secteurs de production industriels avec des exigences d'hygiène accrues	Productions non aseptiques de l'industrie pharmaceutique ou de la production alimentaire
FOU 2	Élevée	Locaux destinés au séjour durable de personnes	Locaux dans les maisons de retraite ou les crèches, salles de classe, bureaux, salles de séjour, salles d'hôtel, salles à manger, vestiaires et salles de réunion, piscines, saunas
		Secteurs de production industriels avec des exigences d'hygiène modérées	Production alimentaire
FOU 3	Modérée	Salles destinées à des temps de séjour réduits	Couloirs, salles de bain, locaux de reprographie, de serveurs et de stockage avec peu de contaminants, blanchisseries
		Secteurs de production industriels avec des exigences d'hygiène faibles	

Tableau 3.8:  
Description des qualités de l'air fourni selon 3803-4:2018 (ébauche).

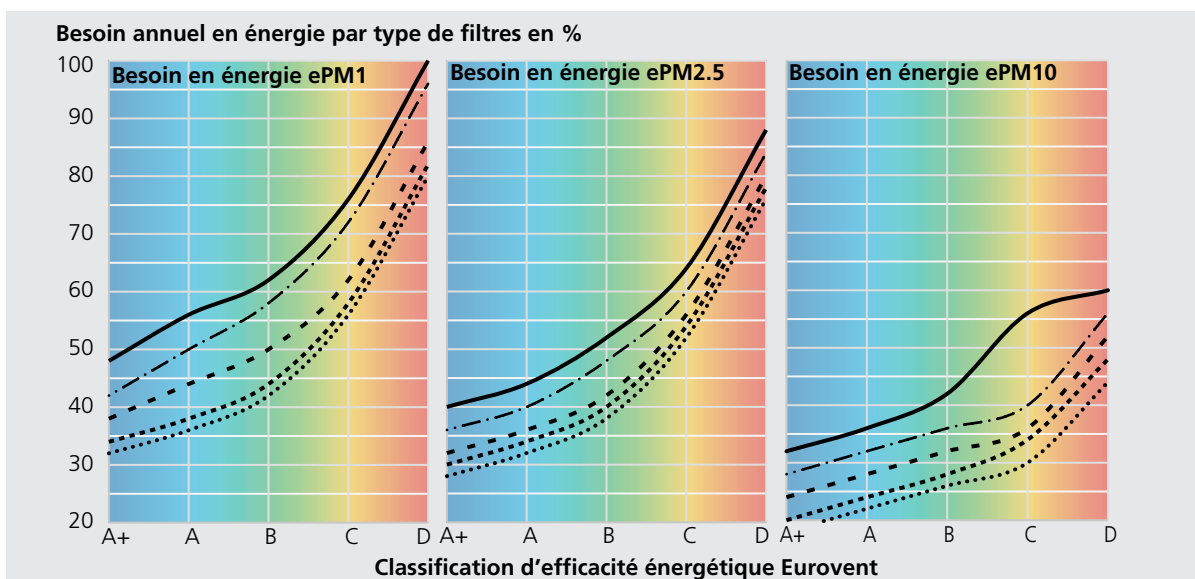


Illustration 3.31:  
Comparaison des besoins annuels en énergie de différents filtres en % (100% = besoin maximal) avec les conditions standards de test et de calcul selon les classifications d'efficacité énergétique Eurovent.

Pouvoir de séparation des filtres  
 ..... 50/55%  
 ---- 60/65%  
 -.- 70/75%  
 -.-.- 80/85%  
 — >90%

### 3.7 Refroidissement des locaux

Les besoins en refroidissement des bâtiments vont augmenter continuellement à l'avenir, non seulement à cause des changements climatiques mais aussi en raison des installations techniques toujours plus nombreuses. Ce chapitre traite du climat intérieur dans ce contexte du refroidissement des locaux.

#### Zones d'utilisation

Les besoins d'énergie pour le refroidissement des locaux sont déterminés par trois facteurs principaux. Ils dépendent largement du comportement des utilisateurs en ce qui concerne :

- L'usage des protections solaires extérieures
- Le niveau des charges frigorifiques dues aux apports thermiques et d'humidité
- L'ouverture des fenêtres et des portes en mode de refroidissement

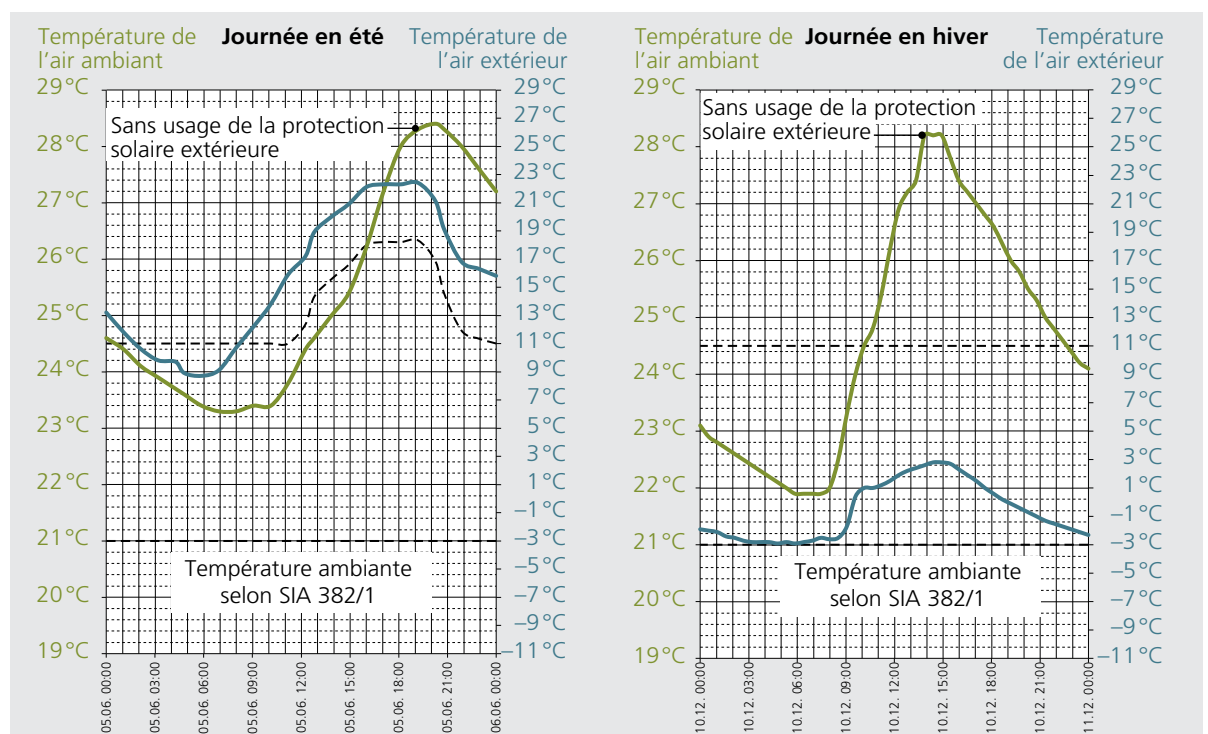
La température ambiante atteignable, donc le besoin de puissance frigorifique, dépend des charges frigorifiques internes et externes. Les protections solaires extérieures sont là pour réduire les charges frigorifiques

externes, les utilisateurs devraient être informés sur leur usage correct. Pour limiter les charges internes, des appareils tels qu'ordinateurs, écrans, imprimantes, beamers ou machines à café doivent être éteints hors utilisation.

Les luminaires allumés génèrent aussi pendant la journée des charges frigorifiques élevées. Pour cette raison, l'usage de la protection solaire extérieure doit être optimisé. Elle doit obscurcir suffisamment pour limiter les charges solaires thermiques sans nécessiter d'éclairage.

La sensibilité à la température change en fonction de l'humidité de l'air. Plus l'humidité de l'air est élevée, plus la température ressentie l'est aussi. A partir d'une humidité de l'air ambiant élevée, la température ressentie augmente d'environ 0,5 K par tranche de 10 % h.r. Refroidir le local de 1 K augmente le besoin d'énergie thermique de 3 %. Par conséquent, refroidir un air ambiant à 70 % h.r. pour qu'il soit ressenti de manière identique à un air de même température à 40 % h.r., augmente le besoin en énergie de 4,5 %. Voilà pourquoi les charges d'humidité sur lesquelles on peut intervenir telles que des jeux d'eau devraient être évitées pendant la période de refroidissement estival.

Illustration 3.32:  
Températures ambiantes en été et en hiver dans un bureau, sans usage de la protection solaire extérieure.



L'illustration 3.34 le démontre, la déshumidification de l'air ambiant implique une dépense d'énergie thermique considérable. Étant donné que la dépense énergétique pour la déshumidification, donc pour le refroidissement latent est nettement plus élevée que pour le refroidissement sensible (illustration 3.33), il faut conditionner la température ambiante et non pas l'humidité ambiante jusqu'à atteindre la zone de confort. Il faut aussi éviter le réchauffement des zones rafraichies en laissant entrer de l'air extérieur chaud par des fenêtres et des portes ouvertes, de même que l'aération transversale, surtout pendant la période de refroidissement. Les quatre mesures techniques suivantes en termes d'OéE peuvent influencer positivement la consommation d'énergie pour les zones à refroidir:

- Refroidissement nocturne optimal
- Harmonisation des séquences de chauffage et de refroidissement
- Choix de la température du fluide de refroidissement
- Réduction du débit d'air en mode de refroidissement

L'avantage d'un refroidissement nocturne est de profiter de la masse thermique du bâtiment et par conséquent de diminuer l'énergie nécessaire au refroidissement mécanique pendant la journée. Pour un résultat concluant, plusieurs conditions sont à remplir, notamment:

- Les masses thermiques du bâtiment doivent se trouver en contact direct avec les zones d'utilisation.
- Les fenêtres peuvent effectivement être laissées ouvertes la nuit (aucun risque d'effraction).

■ Au mieux, les fenêtres s'ouvrent et se ferment automatiquement.

■ Une aération transversale est réalisable, si possible en conservant un flux d'air conduit naturellement.

■ La température de l'air extérieur peut être mesurée à l'extérieur du bâtiment (et non pas dans les prises d'air extérieur).

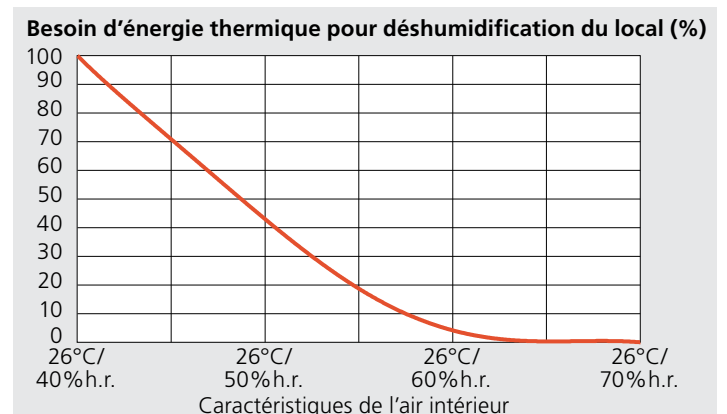
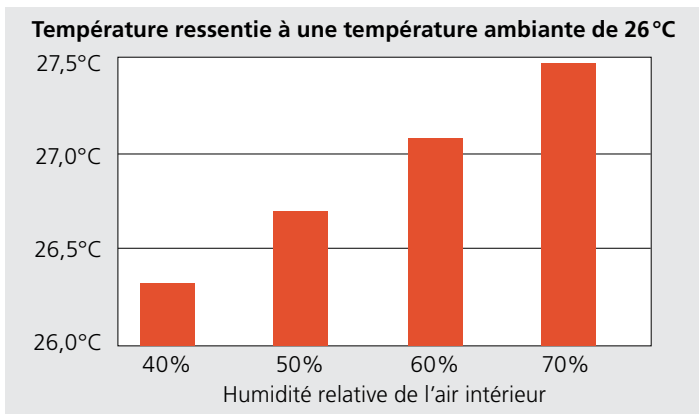
La masse du bâtiment est utilisable comme accumulateur thermique à condition que certaines dalles et parois massives soient laissées brutes. Ces éléments peuvent contribuer de manière significative au refroidissement nocturne pour autant que ces surfaces et masses soient importantes. Leur capacité thermique doit atteindre au moins  $50 \text{ Wh/m}^2 \text{ K}$ . Les revêtements de sol en béton et les chapes usuels remplissent cette condition; à noter encore que la profondeur de pénétration (capacité d'activation) est de quelques cm par jour seulement.

Le refroidissement nocturne atteint le résultat escompté seulement si la quantité d'énergie requise pour la ventilation reste faible ce qui implique une aération naturelle avec un bon flux transversal. Celui-ci est souvent renforcé si l'installation de ventilation peut être réglée en mode air extrait. S'il est impossible d'ouvrir les fenêtres la nuit, le fonctionnement de l'installation de ventilation doit être réglé en conséquence. De nombreuses installations disposent d'un mode de fonctionnement qui distribue et filtre uniquement l'air pulsé sans le chauffer, ni le refroidir, ni le traiter d'une quelconque manière.

L'efficacité du refroidissement nocturne dépend dans une large mesure de l'orienta-

*Illustration 3.34: Besoin d'énergie thermique pour la déshumidification à une température ambiante de 26 °C.*

*Illustration 3.33: Températures ressenties à une température ambiante de 26 °C et à différents teneurs en humidité de l'air intérieur.*



tion du flux d'air, que ce soit avec une ventilation naturelle ou mécanique. Pour un échange thermique efficace, le flux d'air devrait être orienté directement sur la masse bâtie et comporter des turbulences. Pour favoriser un refroidissement nocturne automatique optimal, la température extérieure ne devrait pas être mesurée par une sonde posée directement sur une paroi extérieure à capacité thermique élevée, ou encore dans la conduite d'air neuf, car elle peut fournir des températures extérieures trop hautes et ainsi retarder l'enclenchement du mode rafraîchissement nocturne.

Il est aussi important que la séquence «chauffer» soit bloquée en particulier en mode rafraîchissement nocturne ainsi qu'en mode refroidissement normal (illustration 3.35). Dans le cas des systèmes de chauffage dont la régulation est autonome, tels que les corps de chauffe avec vannes thermostatiques, ce blocage nécessite une intervention manuelle. Les vannes thermostatiques devraient être réglées à 20°C environ, ce qui correspond souvent au niveau 3. Au lieu de régler individuellement les vannes thermostatiques, l'arrêt de la pompe de circulation de chauffage central évite un enclenchement involontaire du chauffage pendant la période de refroidissement.

Les températures du fluide de refroidissement – eau ou air – ne doivent pas être réglées plus bas que celle requise par la puissance de refroidissement déterminée. Les températures trop basses du fluide

font augmenter la consommation d'énergie du générateur de froid.

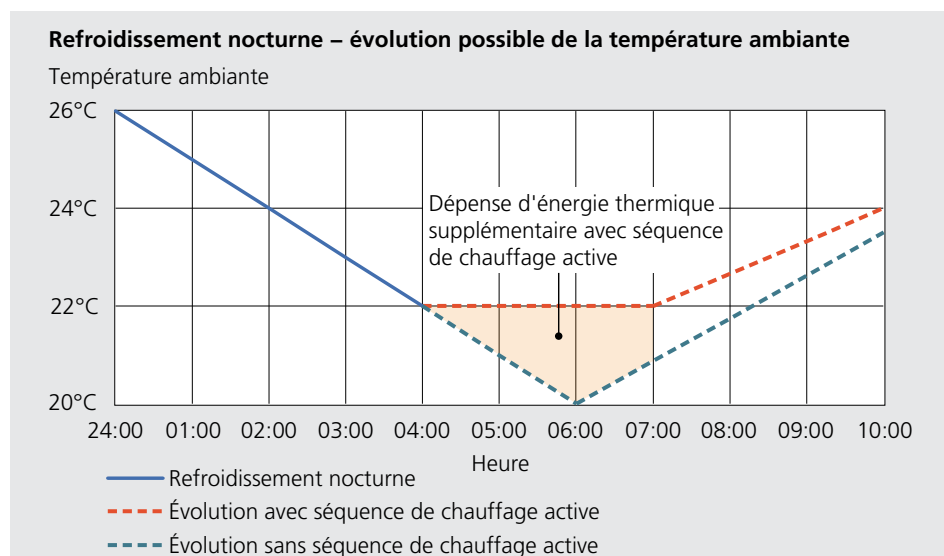
Apporter la même puissance de refroidissement avec de l'air à la place de l'eau nécessite 30 % de puissance de transport supplémentaire pour le déplacement de l'air. En cas de systèmes mixtes air-eau, il est donc pertinent de réduire au maximum la part d'air en faveur de l'eau. La SIA 382/1 postule que le débit d'air par personne peut être réduit de moitié, respectivement à un débit minimal de 15 m<sup>3</sup>/h pour le refroidissement.

### Distribution

Conformément à la SIA382/1, les gaines de ventilation doivent être isolées si la différence de température entre l'air dans les gaines et l'environnement est supérieure à 5 K. Si l'air dans les gaines favorise le refroidissement exigé des locaux, il est possible de renoncer à l'isolation.

Il est important que l'isolation soit posée dans les règles de l'art, sans discontinuité et qu'elle n'ait pas été abîmée, ce qui n'est pas toujours le cas pour les installations existantes. Une remise en état vaut souvent la peine dans le cadre de l'O&E. Les tuyaux conduisant l'eau glacée dont la température est supérieure à 12°C n'exigent pas d'isolation dans un climat intérieur conditionné aussi longtemps que l'air ambiant ne se condense pas sur les tuyaux.

*Illustration 3.35: Évolution de la température avec et sans séquence de chauffage active pendant le refroidissement nocturne.*





### 3.8 Froid de climatisation

Étant donné que les systèmes de climatisation sont souvent très complexes, il est pertinent de les séparer en sous-systèmes: diffusion, distribution et génération, comme décrit par la norme SIA 411 (illustration 3.36). Les mesures d'optimisation principales dans les sous-systèmes sont abordées ci-après, structurées par zones d'utilisation (émission), distribution de froid et production de froid. Dans le cadre d'une OéE et comme précédemment, la consommation d'énergie de ces systèmes peut être réduite jusqu'à 20 % tout en remplissant les mêmes exigences.

#### Zones d'utilisation – émission de froid

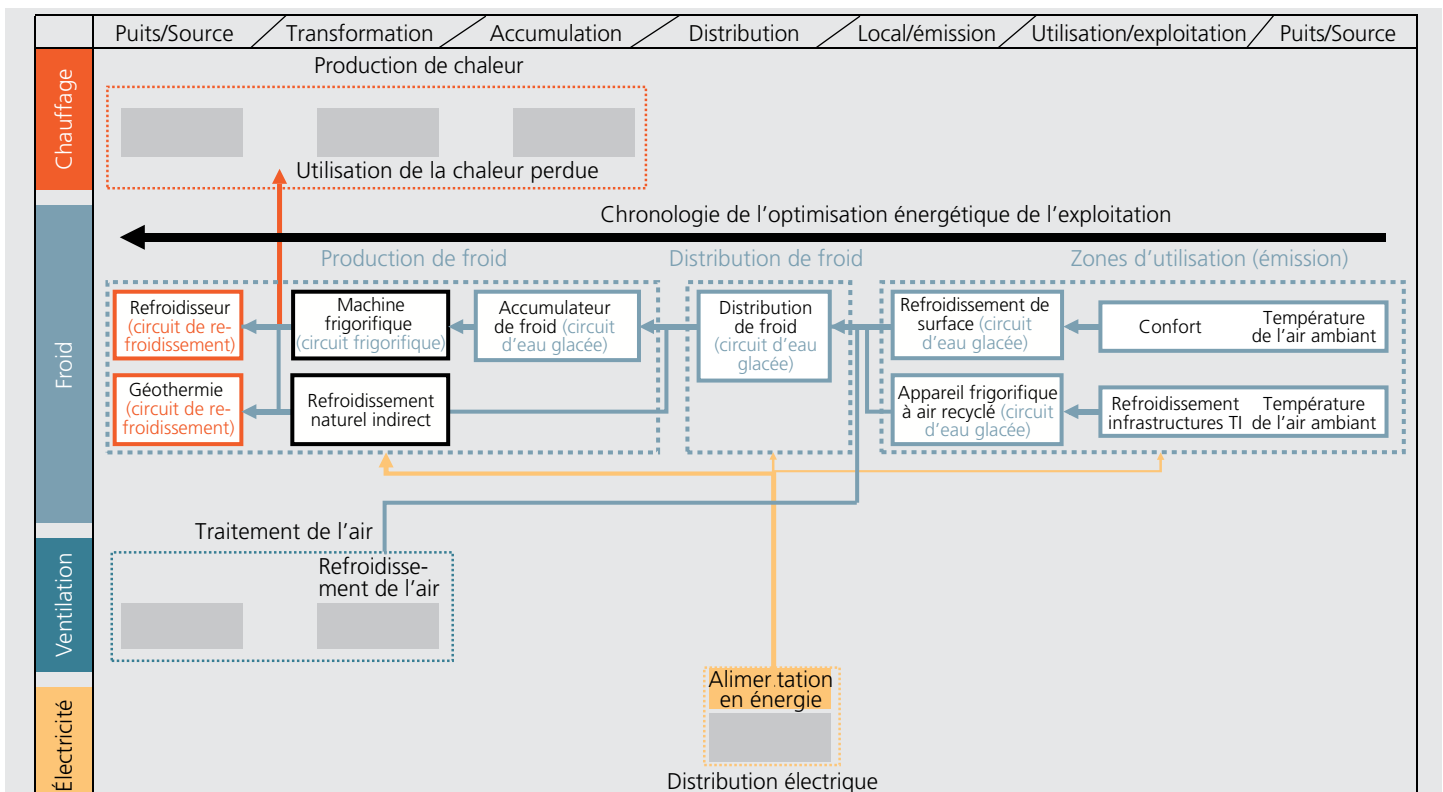
Les principes de base qui influencent les besoins en énergie pour le refroidissement de zones particulières d'utilisation sont décrits au chapitre 3.7. Ce chapitre traite de manière approfondie des aspects déterminants au niveau énergétique:

- Heures de fonctionnement
- Valeur de consigne des circuits frigorifiques
- Différences de température aller/retour

Les zones d'utilisation sont souvent occupées au-delà des périodes d'utilisation habituelles (par exemple des heures de travail). Comme pour la régulation séparée des locaux pour le chauffage, l'arrêt par zones de la climatisation est judicieux pendant les vacances, les week-ends, les jours fériés ou encore pendant la nuit et représente un objectif technique (p. ex. adapter la commande des clapets). Il faut toutefois prendre en compte le temps nécessaire pour anticiper le refroidissement d'un bâtiment pour que les températures ambiantes soient confortables pendant la journée. Par conséquent, le fonctionnement d'un système basé sur le rafraîchissement d'élément thermo-actif (ECTA) n'est pas à adapter aux périodes d'utilisation, mais à l'inertie de l'accumulation.

Les différentes zones d'utilisation ont souvent des systèmes d'émission distincts. Un bureau peut ainsi être équipé avec un plafond refroidissant, un local serveur avec un appareil frigorifique à air recyclé et une installation de ventilation avec une batterie de froid. Les températures d'eau glacée varient en fonction du système d'émission et de ses critères de dimensionnement.

*Illustration 3.36: Exemple d'un système de climatisation type, mis en page avec l'outil Modula GT (SIA 411).*



Une mesure OéE recommandée consiste à vérifier si dans la zone exigeant la température d'eau la plus basse cette dernière peut être augmentée. La température aller aux systèmes d'émission, respectivement aux consommateurs, est alors comparée à la température d'eau glacée au distributeur situé à l'étage. Le cas échéant, la température aller de l'eau glacée peut y être augmentée ce qui diminue le mélange avec le flux retour provenant des consommateurs. Étant donnée une charge frigorifique variable en fonction des saisons, la régulation de la température d'eau glacée commandée par la température extérieure améliore l'efficacité de la production de froid. La «courbe de froid» déplace alors la valeur de consigne de la température aller commandée par les conditions de températures météorologiques de manière analogue à une courbe de chauffe (illustr. 3.38). Cette mesure est particulièrement adaptée pour les batteries de froid des installations de ventilation. En plus du déplacement saisonnier de la valeur de consigne, la température aller des batteries de froid peut dépendre de la déshumidification. Une différence de température aller – retour d'eau glacée inférieure aux valeurs de planification au niveau de la machine frigorifique, ou encore au distributeur, est signe d'un débit trop important. Dans ce cas, mettre d'abord en place des régulations évitant des débits trop élevés du côté consommateurs. Ces interventions sur la

régulation ou les réseaux hydrauliques permettent d'éviter des débits trop importants. Les installations bien adaptées ont pour effet un grand écart de température également en mode de charge partielle. Si l'écart est de 6 K lors du dimensionnement, il doit être encore d'au moins 3 K en mode de charge partielle. Un écart plus élevé rend possible la réduction du débit et ainsi de l'énergie pour la circulation de l'eau lors de la production de froid.

### Distribution de froid

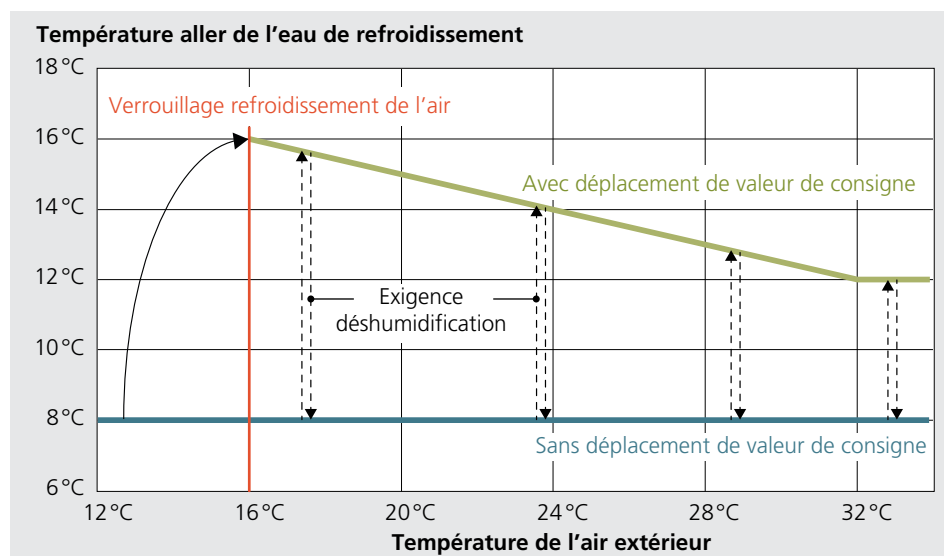
En termes d'OéE, il s'agit d'une part de diminuer les déperditions de froid et de l'autre d'augmenter l'efficacité de la distribution. Dans ce contexte, les points suivants sont traités plus en profondeur:

- Isolations
- Hydraulique
- Verrouillage de consommateurs sans utilisation
- Augmentation de l'efficacité des pompes de circulation

L'isolation des circuits d'eau glacée présente souvent des lacunes, surtout au niveau de la robinetterie. Il en résulte des déperditions d'énergie inutiles.

Les circuits hydrauliques sont primordiaux pour une régulation efficace du circuit d'eau glacée. Mélanger l'eau glacée à l'aller côté consommateurs à un niveau de température plus haut, par exemple via un circuit d'injection avec vanne à trois voies,

Illustration 3.37:  
Déplacement possible de la valeur de consigne de la température aller de l'eau glacée pour refroidisseurs d'air.



provoque des déperditions d'exergie. Parallèlement, la température retour baisse dans le circuit de production ce qui baisse à son tour l'efficacité énergétique de la production de froid. Par conséquent, il faut vérifier tous les circuits consommateurs en termes de déperditions d'exergie et les modifier le cas échéant.

L'illustration 3.38 montre trois circuits possibles ainsi que leur comportement en charge partielle. Les types de circuits adaptés en fonction des types de consommateurs se trouvent dans le livre «Klimakälte heute» de l'édition Faktor Verlag, à la page 125 [5].

Après avoir vérifié et le cas échéant adapté les circuits hydrauliques, il s'agit de monter au maximum la température aller de la production de froid en se basant sur le point le plus défavorable. Ce procédé consiste à monter la température aller par palier de 1 K jusqu'à ce que la vanne de régulation du groupe de consommateurs qui nécessite la température aller la plus basse soit complètement ouverte. Ensuite, la température aller centrale ou de l'étage est à nouveau baissée de 0,5 K pour que la vanne refonctionne en mélange. Il est ainsi assuré qu'elle fonctionne à nouveau dans la plage de régulation planifiée.

Pour les circuits hydrauliques, les sections à débit variable devraient être équipées avec des pompes de circulation réglables.

Une réduction du régime et par conséquent du débit massique à 80 %, par exemple, divise le besoin de puissance par deux découlant de la loi physique entre puissance et débit volumique. En première approximation, ce dernier est à peu près équivalent au régime d'une pompe:

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 = \left(\frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_2}\right)^3$$

$$\rightarrow P_2 = \frac{P_1}{\left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3} = \frac{P_1}{\left(\frac{\dot{m}_1}{\dot{m}_2}\right)^3}$$

$P$  Puissance électrique [W]

$n$  Vitesse de rotation [1/s]

$\dot{m}$  Débit massique [kg/s]

indice 1 Avant la réduction du régime

indice 2 Après la réduction du régime

La valeur générale suivante est admise: la puissance de la pompe ne doit pas dépasser environ 1 % de la puissance de l'évaporateur (= puissance frigorifique). Si les pompes sont inefficaces, il peut être économiquement intéressant de les remplacer. Les nouveaux moteurs de pompe doivent atteindre au minimum la classe d'efficacité IE3.

### Production de froid

La pièce maîtresse de la production de froid, la machine frigorifique, comporte

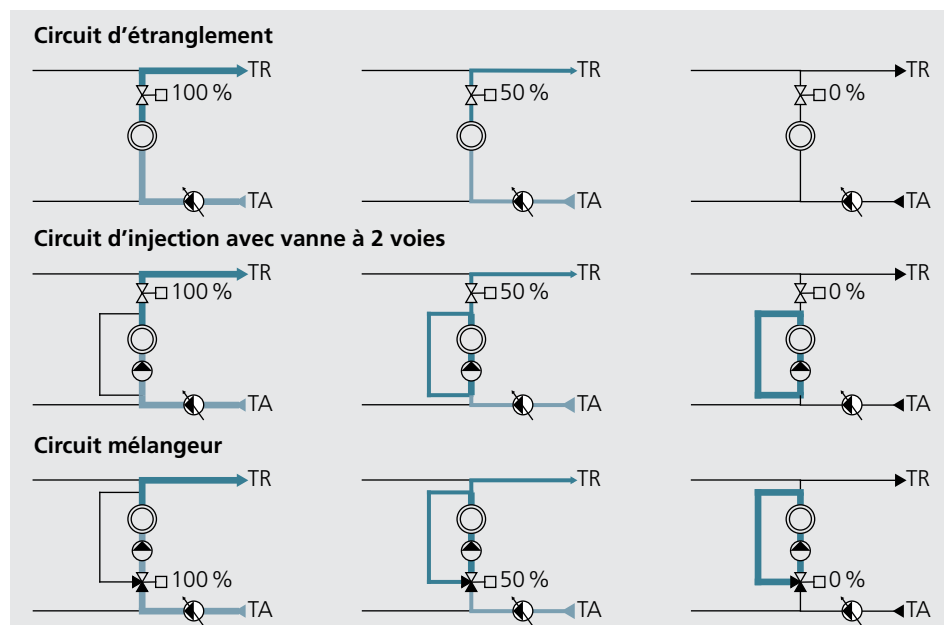


Illustration 3.38: Circuits hydrauliques possibles pour consommateurs de froid avec comportement en charge partielle.

souvent un grand potentiel d'optimisation. Des connaissances approfondies sont cependant nécessaires pour le réaliser pleinement. Une étape importante consiste à analyser le circuit du fluide frigorigène dans la machine frigorifique. Le diagramme  $\log(p),h$  de l'illustration 3.39 le décrit à titre d'exemple. L'illustration 3.40 représente un instantané des valeurs de mesures d'une machine frigorifique en pleine charge, analysées à l'aide de l'outil d'analyse ClimaCheck.

### Exemple

L'exemple suivant examine les potentiels d'optimisation au moyen d'une vue instantanée. Cependant, pour les considérations énergétiques, il est impératif d'analyser les valeurs mesurées sur une période de fonctionnement plus longue. Selon les valeurs de l'illustration 3.40, l'EER (Energy Efficiency Ratio, donc le rendement) de la machine frigorifique à pleine charge s'élève à 2,42. Cependant, pour les machines frigorifiques de 184 kW refroidies par de l'eau, la valeur limite de l'EER est de 4,65 selon la norme SIA 382/1, respectivement le guide «Production efficace de froid» édité par l'OFEN [6]. Afin d'améliorer l'efficacité de la production de froid, les mesures suivantes sont en principe possibles:

### 1. Augmenter la température de l'eau glacée

À la suite des optimisations effectuées dans les zones d'utilisation, la température d'eau glacée peut être augmentée. L'illustration 3.41 montre un exemple avec une augmentation de température de 2 K. Cette mesure simple à mettre en œuvre techniquement permet d'économiser jusqu'à 2,5 % de l'énergie électrique par K dans le circuit de production d'eau glacée.

### 2. Réduire le gradient de l'évaporateur

La qualité de l'évaporateur dépend de la différence de température entre l'eau glacée et l'évaporation (gradient).

$$\Delta t_{\text{évap.}} = t_{\text{EG,évap.SORTIE}} - t_o$$

$\Delta t_{\text{évap.}}$	Gradient de l'évaporateur
$t_{\text{EG,évap.SORTIE}}$	Température de l'eau glacée à la sortie de l'évaporateur
$t_o$	Température d'évaporation du fluide frigorigène

Un évaporateur dimensionné dans les règles de l'art de même type que dans cet exemple a un gradient de 2 à 4 K, cependant la valeur constatée est de 12,2 K. Pour optimiser le gradient, l'évaporateur doit être redimensionné et remplacé ce qui

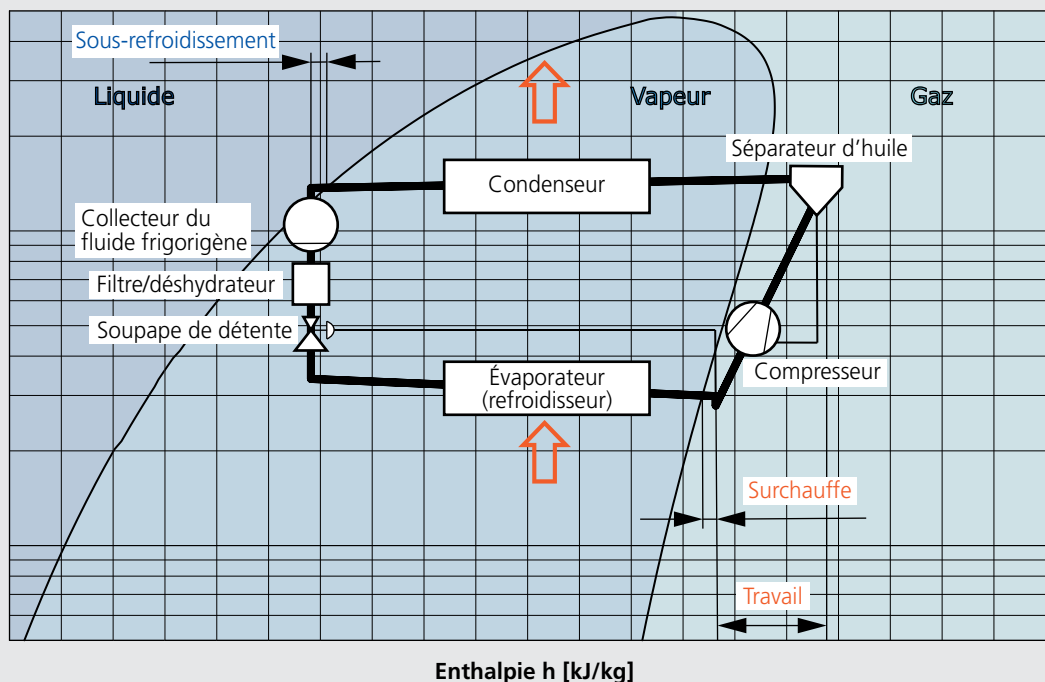


Illustration 3.39:  
Circuit frigorifique  
avec composants  
(établi avec  
CoolPack).

implique des coûts d'investissement élevés dépassant souvent le cadre d'une OéE. Pour chaque K de gradient, la consommation d'énergie du compresseur est réduite de 2,5 %.

### 3. Baisser la température de l'eau de refroidissement

Il est possible d'utiliser les rejets thermiques du condenseur pour le chauffage. Ce point est traité au chapitre 3.12 «Utilisation de la chaleur perdue». Sans utilisation des rejets thermiques ou encore s'il n'y a pas de consommateurs des rejets, la chaleur de condensation de la machine frigorifique parvient à l'air libre à travers le refroidissement. Deux paramètres contribuent de manière déterminante à un refroidissement efficace :

- L'exploitation complète des surfaces de refroidissement disponibles.
- L'utilisation des basses températures de l'air extérieur jusqu'à la pression d'évaporation minimale possible.

La régulation de puissance des refroidisseurs influence la température de refroidissement. L'enclenchement et le déclenche-

ment des refroidisseurs et ventilateurs de refroidissement déterminent la taille de la surface utilisée pour le refroidissement. Plus la surface de refroidissement est grande, plus les températures de refroidissement utilisées sont basses et plus la consommation d'énergie est importante pour les ventilateurs de refroidissement. Ces deux aspects doivent être coordonnés de manière optimale en termes d'énergie. L'utilisation du potentiel de basses températures de l'air extérieur implique un déplacement de la valeur de consigne des températures de refroidissement au-dessus de la température de l'air extérieur. Le gradient, c'est-à-dire la différence entre la température de l'air extérieur et la température de sortie du refroidisseur eau-glycol, par exemple pour un aérorefroidisseur sec bien dimensionné, est d'environ 6 K. Dans l'exemple mesuré (illustration 3.40), le gradient est de 9 K, à une température de l'air extérieur de 31,6 °C.

Grâce à ces deux mesures simples et rapides à mettre en œuvre pour abaisser la température de l'eau de refroidissement, jusqu'à 2,4 % d'énergie électrique peuvent

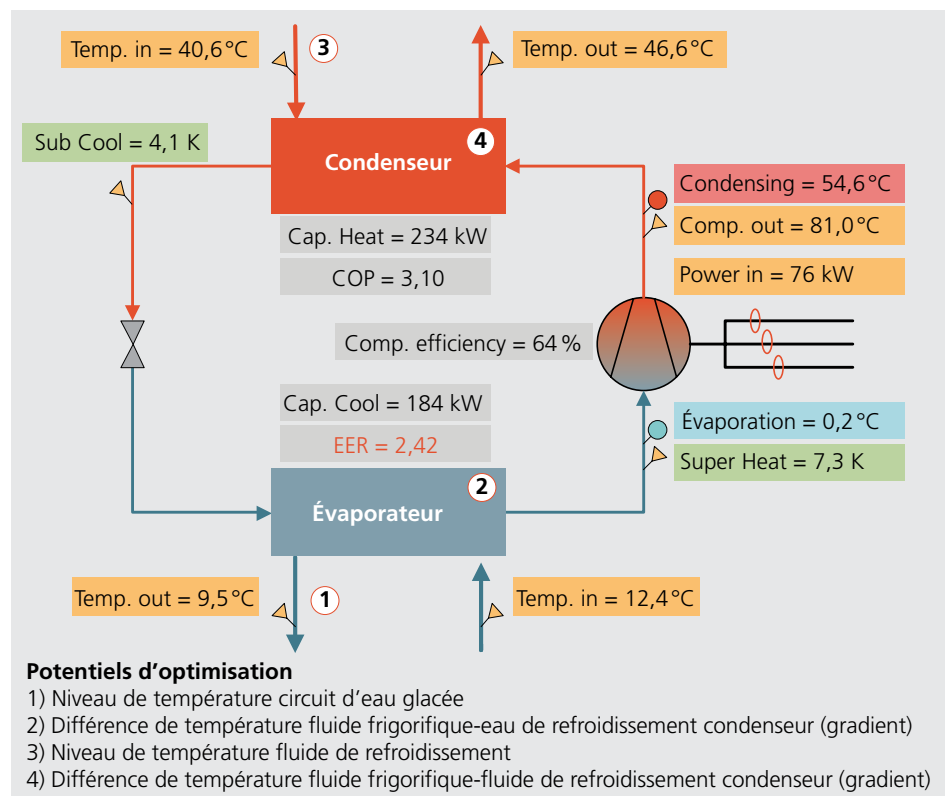


Illustration 3.40: Températures mesurées au moyen de l'outil ClimaCheck et puissances résultantes à pleine charge.

être économisés par K dans le circuit de refroidissement.

#### 4. Réduire le gradient du condenseur

La qualité du condenseur dépend de la différence (gradient) entre la température du fluide de refroidissement ou de chaleur rejetée et la température de condensation.

$$\Delta t_{\text{cond.}} = t_c - t_{\text{E-G,cond.SORTIE}}$$

$\Delta t_{\text{cond.}}$  Gradient condenseur

$t_{\text{E-G,cond.SORTIE}}$  Température de sortie du mélange eau-glycol au condenseur

$t_c$  Température de condensation du fluide frigorigène

Un condenseur dimensionné de manière optimale a un gradient de 1 à 2 K. Dans l'exemple il est de 8 K.

Pour optimiser le gradient, le condenseur doit être redimensionné et remplacé, ce qui implique des coûts d'investissement élevés dépassant souvent le cadre d'une O&E. Par gradient K, la consommation d'énergie du compresseur est réduite de 1,7 %.

Le tableau 3.9 résume les résultats des quatre mesures. En mettant en œuvre l'ensemble des quatre mesures dans notre exemple, les économies s'additionneraient, elles pourraient s'élever à plus de 40 % (illustration 3.41)!

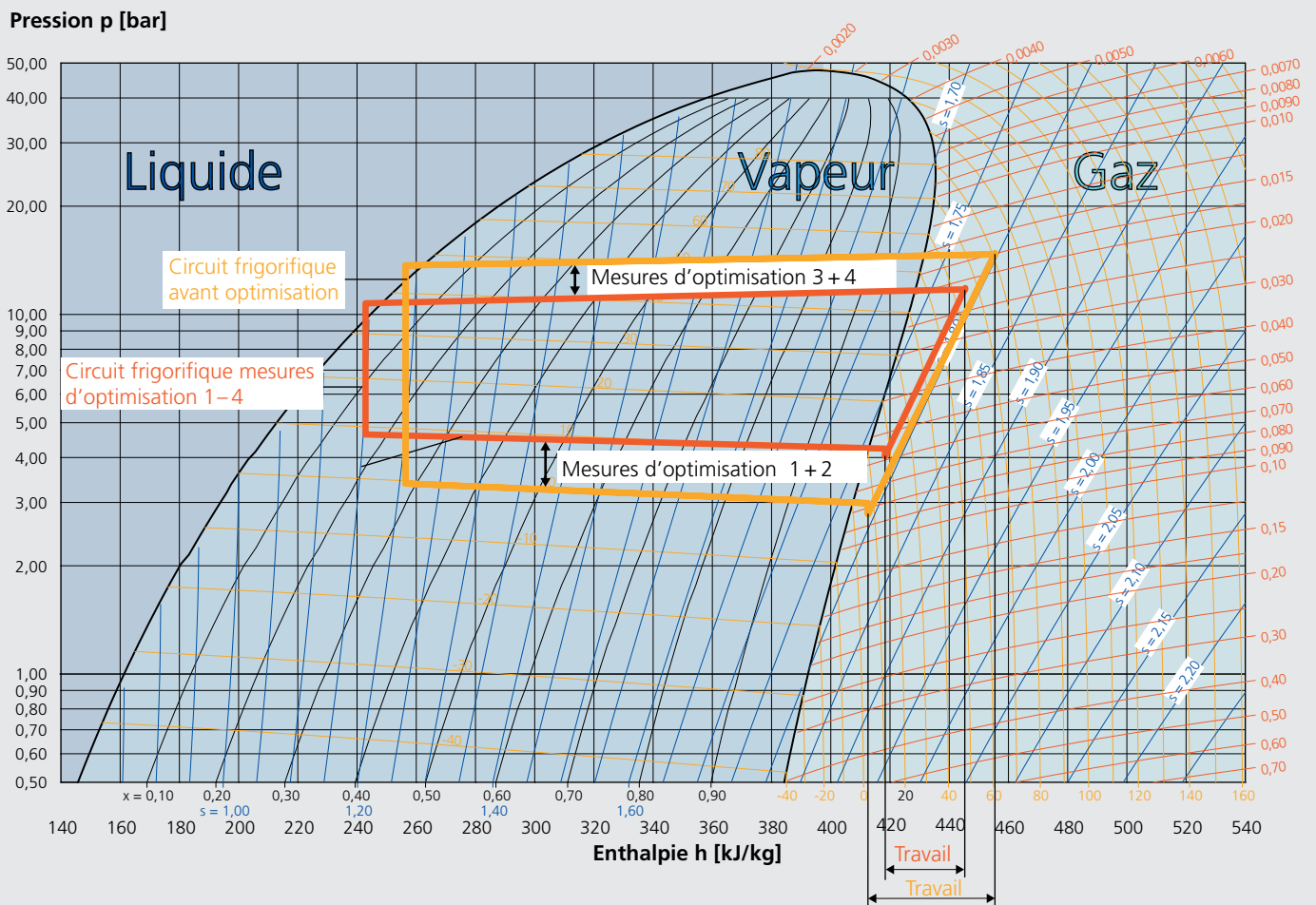
Les quatre mesures d'optimisation décrites sont de nature technique. Une maintenance régulière et le contrôle continu des températures de fonctionnement contribuent également à une production de froid efficace sur le long terme.

Une autre condition préalable est la propriété des échangeurs de chaleur afin de garantir un bon transfert de chaleur. Les échangeurs traversés par un flux d'air s'encrassent rapidement et sont à nettoyer périodiquement dans les règles de l'art. La brochure de l'OFEN «Réduisez vos charges par un Froid Efficace!» (mesure 1) [7] fournit des informations plus détaillées à ce sujet.

Tableau 3.9:  
Aperçu des mesures  
d'optimisation effectuées.

Mesure d'optimisation	Sans	Avec	Comparaison
<b>1. Température de sortie eau de refroidissement à l'évaporateur</b>	<b>9,5 °C</b>	<b>11,5 °C</b>	<b>+2 K</b>
Puissance frigorif. évaporateur	184 kW	184 kW	–
Puissance abs. compresseur	75,7 kW	71,7 kW	–5 %
Puissance therm. condenseur	234,5 kW	232,8 kW	–1 %
EER	2,42	2,57	6 %
COP	3,10	3,25	5 %
<b>2. Réduction du gradient évaporateur</b>	<b>12,2 K</b>	<b>4 K</b>	<b>–8,2 K</b>
Puissance frigorif. évaporateur	184 kW	184 kW	–
Puissance abs. compresseur	75,7 kW	60,0 kW	–21 %
Puissance therm. condenseur	234,5 kW	227,9 kW	–3 %
EER	2,42	3,06	26 %
COP	3,10	3,80	23 %
<b>3. Réduction de la température de l'eau de refroidissement</b>	<b>40,6 °C</b>	<b>37,6 ... 16 °C</b>	<b>–3 ... –24,6 K</b>
Température de l'air extérieur	31,6 °C	31,6 ... 22 °C	–
Puissance frigorif. évaporateur	184 kW	184 kW	–
Puissance abs. compresseur	75,7 kW	70,2 ... 37,2 kW	–7,3 ... –50,9 %
Puissance therm. condenseur	234,5 kW	230,5 ... 209,2 kW	–1,7 ... –10,8 %
EER	2,42	2,62 ... 4,94	8,3 ... 104,1 %
COP	3,10	3,3 ... 5,6	6,5 ... 80,6 %
<b>4. Réduction du gradient condenseur</b>	<b>8 K</b>	<b>2 K</b>	<b>–6 K</b>
Puissance frigorif. évaporateur	184 kW	184 kW	–
Puissance abs. compresseur	75,7 kW	65,0 kW	–14 %
Puissance therm. condenseur	234,5 kW	228,7 kW	–3 %
EER	2,42	2,83	17 %
COP	3,10	3,52	14 %

Illustration 3.41: Potentiel cumulé des mesures d'optimisation 1 à 4.

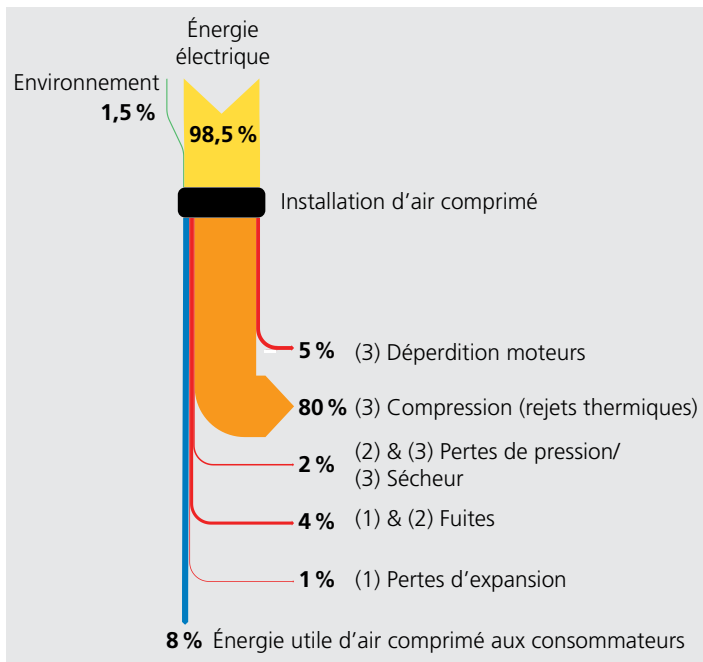


Mesures d'optimisation 1 – 4	Sans	Avec	Comparaison
Température de sortie de l'eau de refroidissement à l'évaporateur	9,5 °C	11,5 °C	+ 2 K
Température d'évaporation	0,2 °C	10,4 °C	+ 10,2 K
Température d'entrée du fluide de refroidissement au condenseur	40,6 °C	37,6 °C	- 3 K
Température de condensation	54,6 °C	45,6 °C	- 9 K
Puissance frigorifique évaporateur	184 kW	184 kW	-
Puissance absorbée compresseur	75,7 kW	43,0 kW	- 43 %
Puissance thermique condenseur	234,5 kW	212,4 kW	- 10 %
EER	2,42	4,28	+ 77 %
COP	3,10	4,90	+ 58 %

### 3.9 Air comprimé

Les installations d'air comprimé sont énergivores et occasionnent surtout des rejets thermiques. Près de trois quart de l'énergie injectée est transformée en chaleur. Dans le cadre d'une O&E, la priorité des mesures à prendre s'établit en fonction des potentiels d'efficacité et commence par conséquent avec les consommateurs. La procédure détaillée et les différents outils utiles à l'O&E des installations d'air comprimé sont disponibles sur le site [www.druckluft.ch](http://www.druckluft.ch).

**Illustration 3.42:**  
Flux d'énergie d'une installation typique d'air comprimé jusqu'aux consommateurs (1), en passant par le réseau d'air comprimé (2) et la génération d'air comprimé (3).



#### Zones d'utilisation – consommateurs

Côté consommateurs, trois mesures pour améliorer l'efficacité énergétique devraient être prises en considération:

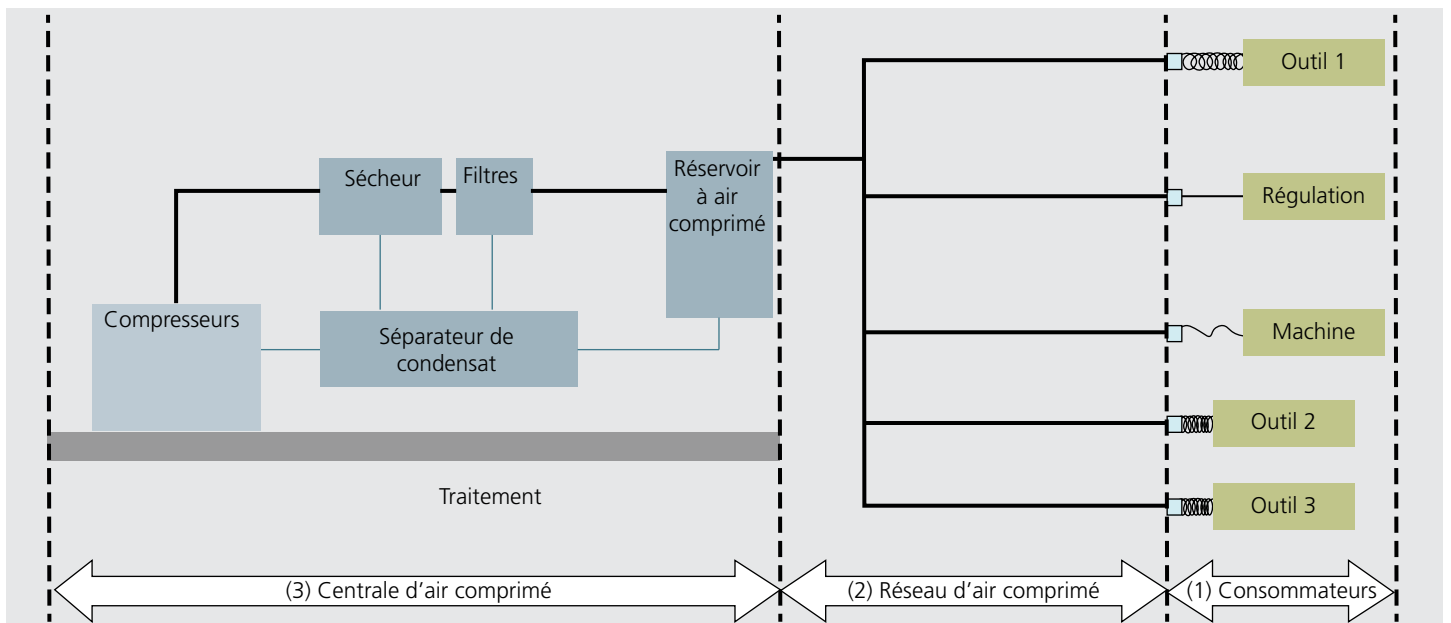
- La déconnexion des consommateurs très occasionnels et/ou des consommateurs très éloignés de la production principale d'air comprimé. Ils peuvent être alimentés par des générateurs décentralisés ou remplacés par des appareils électriques (p. ex. des outils).
- Le contrôle du niveau de pression maximal et du volume d'air requis.
- Le contrôle de tous les raccords en termes de fuites.

Les entraînements fonctionnant à air comprimé peuvent consommer jusqu'à 10 fois plus d'énergie que les entraînements électriques. Si des consommateurs doivent être remplacés, passer dans la mesure du possible à des appareils et composants à entraînement électrique.

Clarifier pour chaque consommateur le niveau de pression minimal requis. Si des petits consommateurs isolés avec des exigences de niveaux de pression élevées sont repérés, vérifier s'ils devraient être alimentés par un générateur d'air comprimé décentralisé.

Le risque de fuite des tuyaux de raccordement d'air comprimé et des couplages augmente avec le vieillissement des instal-

**Illustration 3.43:**  
Schéma d'une installation d'air comprimé avec consommateurs (1), réseau d'air comprimé (2) et génération d'air comprimé (3).





lations. Leur remplacement périodique peut diminuer les pertes de manière drastique.

### Réseau d'air comprimé

Pour les tuyaux à air comprimé, le taux de fuite augmente de 20 à 80 % avec les années. Le taux à viser est de 5 à 10 %. Les appareils de mesure à ultrasons permettent de repérer les fuites de manière fiable au niveau des couplages et des vannes. Si des fuites sont repérées, il faut les marquer et les éliminer.

### Génération d'air comprimé

Les deux mesures suivantes améliorent l'efficacité des générateurs d'air comprimé:

- La réduction du niveau de pression de consigne au réservoir à air comprimé.
- La déconnexion automatique des consommateurs et l'arrêt de la génération d'air comprimé lorsqu'il n'est pas utilisé.

La pression de consigne du réservoir à air comprimé peut être réduite jusqu'à ce qu'elle corresponde à la pression maximale requise des consommateurs. Les coûts énergétiques augmentent d'environ 7 % pour chaque bar de pression supplémentaire dans le réseau.

S'il n'y a pas besoin d'air comprimé le week-end, pendant les vacances d'entreprise ou la nuit, le générateur doit être arrêté automatiquement ou manuellement. Si seuls des consommateurs isolés sont concernés par de telles interruptions, ils peuvent être déconnectés du réseau par des vannes à bille. Important: les vannes à bille doivent être ouvertes lentement lors de la remise en marche, sinon la génération d'air comprimé peut être endommagée.

## 3.10 Électronique du bâtiment

L'électronique du bâtiment englobe essentiellement les installations pour l'approvisionnement et la distribution de l'énergie ainsi que les installations de sécurité, de protection incendie et de communication. Toutes ces installations n'ont pas le même potentiel en terme d'OéE. L'illustration 3.44 montre les potentiels par type d'installation.

### Compensation de courant réactif

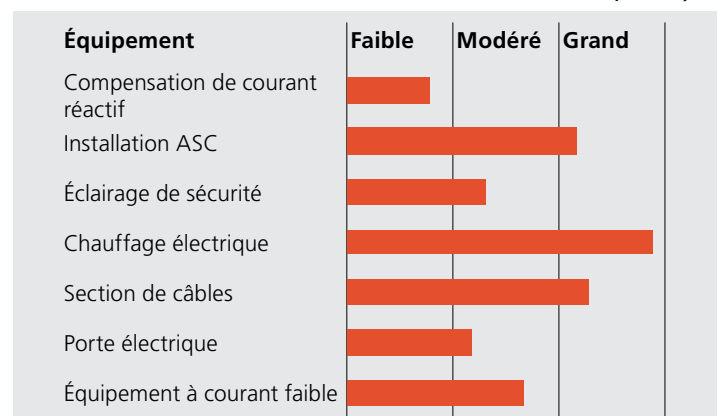
Les consommateurs inductifs chargent le réseau de puissance réactive ce qui augmente les pertes de transmission dans les câbles. Des installations de compensation de courant réactif ou des convertisseurs de fréquence placés correctement contribuent à réduire ces pertes en cas de moteurs et/ou de consommateurs inductifs plus importants. Une installation de compensation de courant réactif peut être dimensionnée sur la base de la facturation par l'entreprise d'approvisionnement en énergie. Cela permet également de vérifier la rentabilité d'une telle installation avant de la réaliser.

### Installations ASC statiques (fonctionnement sur batterie)

Les alimentations sans coupure (ASC) approvisionnent les consommateurs sensibles en cas de panne de courant et améliorent la qualité de la tension du réseau en général. Pour différentes raisons, ces installations sont souvent surdimensionnées et leur rendement n'est pas optimal. En fonction du type d'installation et de la charge d'exploitation, 5 à 10 % de la puissance de

Volker Wouters

*Illustration 3.44: Estimation du potentiel d'économie de différents équipements électriques. (Source: V. Wouters, HSLU)*



l'installation est perdue sous forme de rejets thermiques directement à l'ASC. Ces rejets doivent parfois être évacués par refroidissement. Il faut aussi tenir compte des batteries qui devraient être entreposées dans un local à température ambiante entre 20 à 25°C. Étant donné que la partie ASC de l'appareil résiste peu de temps (< 1h) aux températures jusqu'à 40°C, il peut être judicieux de placer les batteries dans un local séparé.

### Installations d'éclairage de sécurité

L'éclairage de sécurité fait partie de l'éclairage de secours. Elle garantit en cas de panne de réseau une évacuation d'un local ou d'un bâtiment en toute sécurité. Les signaux de secours lumineux fonctionnent souvent en régime permanent. Dans les bâtiments pour lesquels ceci n'est pas exigé de manière explicite, il est possible de les déclencher ou de les mettre en veille en dehors des périodes d'utilisation. En cas de doute, une telle mesure doit être coordonnée avec l'autorité compétente.

### Chauffages électriques pour antennes satellites, chenaux et chemins d'accès

Pour empêcher que les unités de réception satellite (antennes paraboliques) des bâtiments en montagne (en particulier des hôtels et chalets) soient enneigées, des chauffages au sol électriques sont posés sous ces unités. Ces chauffages devraient être évités et s'ils sont indispensables ils doivent être équipés au moins d'une sonde d'humidité/de neige. Idéalement, la pose à une hauteur suffisante de l'unité de réception permet simplement de renoncer à tout chauffage

électrique. La température d'enclenchement ne devrait pas être réglée au-dessus de 3°C. Les chauffages pour chenaux et chemins d'accès devraient également être commandés par sonde d'humidité ce qui garantit qu'ils ne soient pas enclenchés lors de basses températures sans chute de neige. Pour ces chauffages également, la température d'enclenchement ne devrait pas être réglée au-dessus de 3°C.

### Dimensionnement des câbles

Les câbles longs et sous-dimensionnés peuvent entraîner des pertes considérables. L'intensité électrique et la durée de fonctionnement sont déterminantes. Dans certaines circonstances, les coûts pour le renforcement (augmentation de la section) des câbles d'alimentation avec des durées de fonctionnement et des charges élevées sont amortis en très peu de temps.

### Portes tournantes et portes carrousels

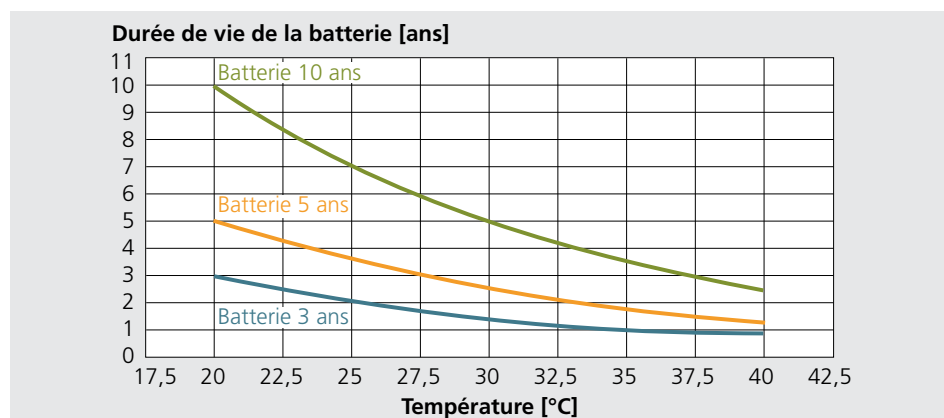
Pour les portes tournantes et les portes carrousels à entraînement électrique, il est possible d'adapter le mode de fonctionnement. L'entraînement peut être déclenché en l'absence d'utilisateurs ou durant les périodes où le bâtiment n'est de manière générale pas utilisé.

### Équipements et installations à courant faible

Les équipements à courant faible suivants en font partie:

- Équipements de détection et de prévention d'incendie
- Système de haut-parleurs et d'alarme électro-acoustique

Illustration 3.45:  
Durées de vie de  
batteries ASC versus  
température ambiante. (Source:  
Control Engineering)



- Horloges électriques
- Équipements de surveillance vidéo
- Automation du bâtiment

Les équipements de signalisation utilisés pour la protection des personnes dans les bâtiments ou encore pour l'évacuation sécurisée du bâtiment se prêtent peu à une OéE. Par contre, il vaut la peine d'examiner de plus près les équipements suivants:

Pour les **équipements de surveillance vidéo** qui ne sont pas visualisés en permanence, les écrans de surveillance peuvent être basculés en «mode économie d'énergie» lorsqu'ils ne sont pas consultés. Il en va de même pour les horloges qui ne sont pas visualisées en dehors des périodes d'utilisation.

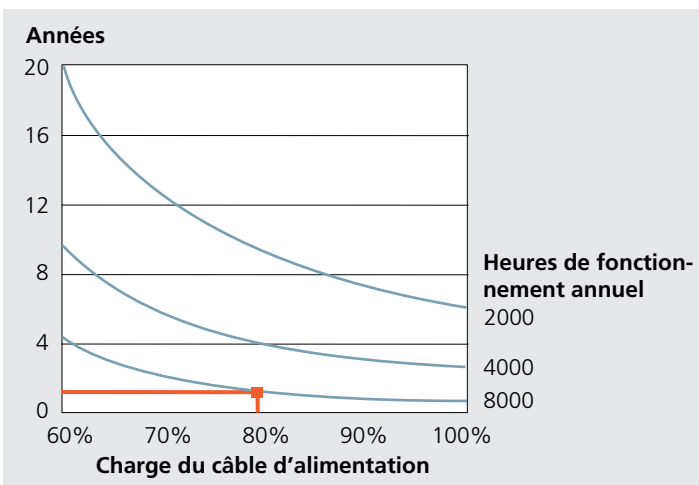
**Les équipements de prévention incendie** diminuent le risque d'incendie en réduisant la teneur en oxygène. Plus la teneur en oxygène est faible, plus le risque d'incendie est faible et plus les besoins en énergie sont élevés. Les mesures suivantes permettent d'économiser jusqu'à 30 % d'énergie électrique pour diminuer la teneur en oxygène:

- Passages d'entrée pour câbles étanches au gaz
- Joints de qualité pour les portes
- Peintures synthétiques (étanches à la diffusion) pour les plafonds, parois et sols

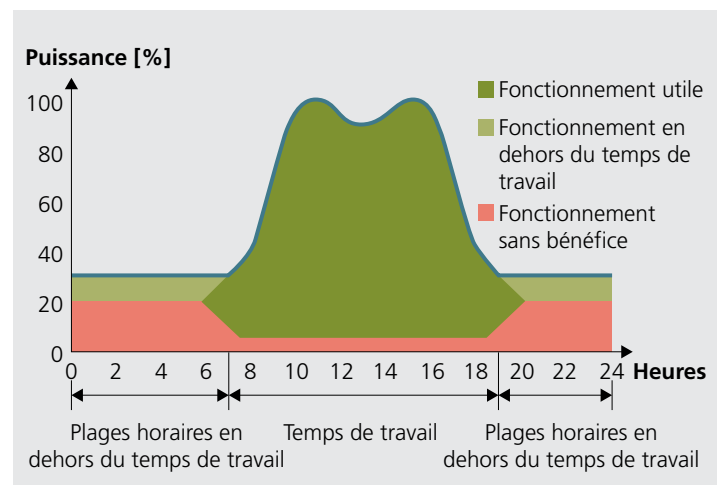
Les équipements technologiques de l'information et de la communication (TIC) assurent la transmission de données et de parole et occupent la bande passante en continu, même en dehors des périodes

d'utilisation. Il existe deux cas de figure: fonctionnement en dehors du temps de travail et fonctionnement sans bénéfice. Le déclenchement ciblé des équipements TIC en dehors des périodes d'utilisation permet de réduire les deux types de fonctionnements de manière significative (illustration 3.47).

**Illustration 3.46:** Durées d'amortissement de câbles d'alimentation électrique en fonction des heures de fonctionnement annuel et du taux de charge par rapport à la charge maximale selon les normes. (Source: Peter Bryner, Electrosuisse)



**Illustration 3.47:** Installations électriques: fonctionnement en dehors du temps de travail et fonctionnement sans bénéfice. (Source: Swiss Energy Codes – Revision SIA 380/4, Teilprojekt 7: Verlustoptimierte Elektroinstallationen)



### Olivier Steiger

## 3.11 Automatisation du bâtiment

L'automatisation du bâtiment englobe tous les dispositifs pour la commande, la régulation, la surveillance et l'optimisation des installations techniques du bâtiment. L'ensemble de ces dispositifs est appelé système(s) de gestion technique du bâtiment (SGTB). La GTB fait converger les différents corps de métier et pour cette raison elle joue un rôle prépondérant dans une OéE [8].

La GTB assure que les différentes installations agissent de concert et soient exploitées en fonction des besoins. Un monitoring technique permet par ailleurs la transparence quant aux mesures d'optimisation et au contrôle des résultats des mesures OéE. Les solutions IoT (Internet of Things) sont de plus en plus utilisées. Elles exploitent encore davantage le potentiel d'optimisation et rendent possibles de nouvelles applications dans le bâtiment. Le terme IoT désigne de façon générale la mise en réseau d'objets physiques, entre eux et avec Internet, par exemple la saisie sans fil de la qualité du confort d'un local et le suivi automatique de son optimisation. Il est probable qu'à l'avenir des systèmes d'automatisation optimisent de manière autonome les paramètres de fonc-

tionnement de base (valeurs de consigne, courbes de chauffe, programmes de minuterie, etc.). Cela permet de mettre en œuvre certaines mesures OéE de manière (en partie) automatisée.

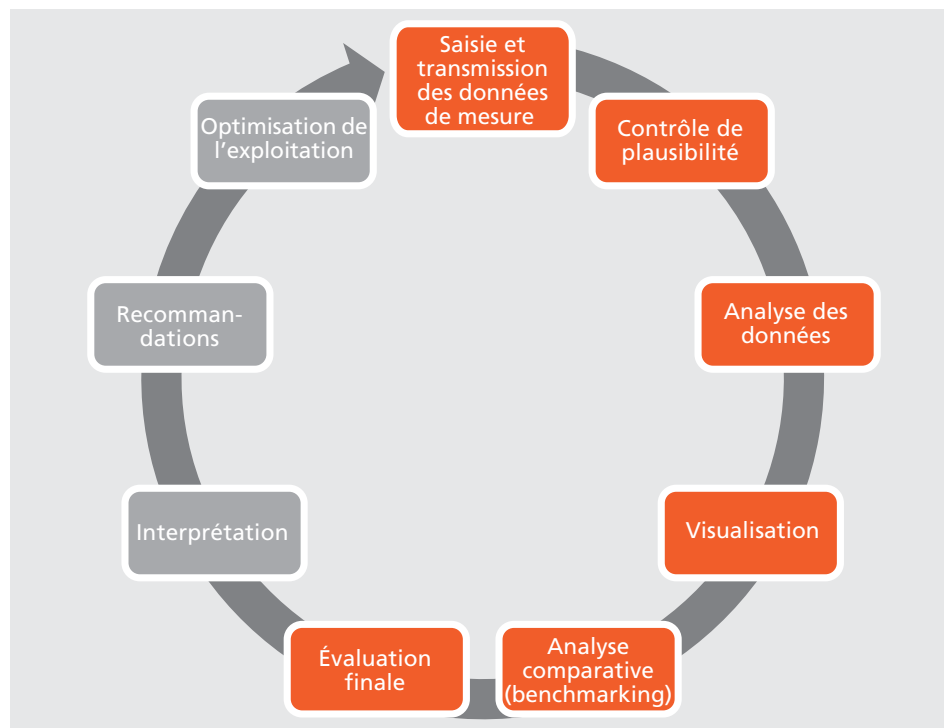
### OéE par automatisation intégrale du bâtiment et en fonction des besoins

Les installations techniques du bâtiment devraient être exploitées de sorte que les exigences annoncées soient respectées avec une consommation d'énergie la plus faible possible. La norme européenne [9] fournit des aides pour:

- La planification d'un système GTB qui contribue de manière significative à une bonne efficacité énergétique du bâtiment.
- L'estimation de l'efficacité des installations techniques à différents degrés d'automatisation.

C'est l'exploitation des installations techniques en fonction des besoins et des présences qui économise de l'énergie, par exemple en faisant fonctionner l'éclairage et la ventilation uniquement lors de la présence d'utilisateurs. La chaleur et le froid doivent également être fournis dans les locaux en fonction des besoins.

*Illustration 3.48:*  
Le monitoring technique sert au contrôle de résultat d'une OéE. Les étapes du monitoring technique (de la saisie des données de mesure jusqu'à l'évaluation finale) sont mises en évidence par des couleurs. Les étapes ultérieures de l'OéE sont sur fond gris.  
(Source: Haute école spécialisée de Lucerne)



Les effets d'économie d'énergie des systèmes GTB peuvent encore être renforcés en tenant compte de l'interaction des différents systèmes – on parle alors de GTB intégrale. Pour donner un exemple, l'incidence de la lumière du jour dans le bâtiment peut être commandée par des dispositifs de protection solaire automatiques. Une telle régulation est utile pour soutenir les systèmes d'éclairage, de chauffage et de rafraîchissement. Le tableau 3.10 résume une sélection de fonctions GTB influençant l'efficacité énergétique des bâtiments.

### Contrôle des résultats par monitoring technique

Le monitoring technique comprend la saisie de la consommation d'énergie et des autres consommations des réseaux d'approvisionnement ainsi que l'état des installations dans le bâtiment [10]. Il est utilisé pour déterminer et représenter les flux d'énergie, par exemple la consommation électrique d'une pompe à chaleur, la production d'électricité d'une installation

photovoltaïque, l'électricité des communs, les flux de chaleur pour le chauffage et l'eau chaude. Le monitoring technique surveille en outre les modes et états de fonctionnement des installations essentielles, telles que la RC ou encore l'utilisation des rejets de chaleur. Le monitoring technique permet de contrôler les résultats des mesures OéE. Il fournit en outre une base solide pour des étapes d'optimisation supplémentaires.

Le processus du monitoring technique peut être divisé en différentes étapes (illustration 3.48) [11]. Tout d'abord, les données sont mesurées à l'aide de sondes. Chaque sonde doit être adaptée aux mesures à effectuer et installée dans les règles de l'art. La transmission des données peut se faire par différents canaux, par exemple via un réseau local, des réseaux sans fil ou un cloud.

La plausibilité des données obtenues doit ensuite être vérifiée. Les données invalides sont identifiées et supprimées ou corrigées. L'analyse ultérieure des données est l'élément central du monitoring. Elle sert à reconnaître les influences et corrélations déterminantes dans les données. À cette fin, des méthodes statistiques (moyenne, analyse de la régression ou de la variance) et stochastiques (détection des valeurs irréalistes, analyse par regroupement) sont utilisées. La visualisation doit ensuite fournir un aperçu concis des indicateurs les plus importants (par exemple, les consommations d'énergie). Les résultats de l'analyse des données sont souvent comparés aux valeurs de planification ou à des valeurs de référence d'autres installations. Il est ainsi possible de donner en peu de temps des informations sur l'état de fonctionnement des installations surveillées. L'évaluation finale résume les résultats de l'analyse des données et de l'analyse comparative aux valeurs de référence.

### Systèmes de gestion de l'énergie (SGE)

Outre l'OéE, les énergies renouvelables sur le marché de l'électricité et la consommation accrue d'électricité produite sur site (autoconsommation) gagnent en importance. L'objectif est d'utiliser au maximum les énergies renouvelables et parallèlement de réduire au maximum la charge sur le réseau de distribution.

Les SGE font partie des solutions techniques pour y parvenir. Ils mesurent les flux d'énergie dans le bâtiment, tels que la production d'électricité de l'installation PV, la consommation électrique des principaux consommateurs (mobilité électrique, pompes à chaleur, appareils électroménagers) et l'injection dans le réseau de distribution. Afin d'injecter le moins possible d'électricité issue de production propre dans le réseau, certains consommateurs sont enclenchés lorsque la production est excédentaire. L'énergie excédentaire peut aussi être stockée thermiquement ou dans une batterie.

### Solutions IoT pour l'OéE

La GTB permet de surveiller et d'optimiser des systèmes techniques du bâtiment au niveau énergétique. Cependant, les solutions standards sont souvent complexes et rigides, en partie à cause de la technologie

	Variante conventionnelle	Variante énergétiquement très efficace
<b>Régulation du mode de chauffage et de refroidissement</b>		
Régulation de l'émission	Régulation séparée des locaux par vannes thermostatiques ou régulateur électronique	Régulation séparée des locaux avec communication entre dispositifs de régulation et système GTB; régulation basée sur la présence
Régulation de la température d'eau chaude/d'eau froide dans le réseau de distribution	Régulation en fonction des conditions climatiques	Régulation en fonction des besoins, p. ex. sur la base de la valeur de réglage de la température intérieure
Verrouillage entre la régulation côté chauffage et côté refroidissement de l'émission et/ou de la distribution	Aucun verrouillage	Verrouillage complet: il est assuré au moyen d'une fonction d'automatisation excluant le chauffage et le refroidissement simultanés
Régulation du producteur de chaleur/froid	Régulation de la température variable en fonction de la température extérieure	Régulation variable de la température en fonction de la charge
<b>Régulation de la production d'eau chaude sanitaire</b>		
Régulation de la charge de l'accumulateur d'eau chaude sanitaire	Régulation automatique à 2 points et déclenchement de charge planifié	Régulation automatique à 2 points, déclenchement de charge planifié et régulation en fonction des besoins de la température aller
Régulation de la pompe de circulation d'eau chaude sanitaire	Fonctionnement continu	Avec programme temporel
<b>Régulation de la ventilation et de la climatisation</b>		
Régulation du débit d'air fourni au niveau du local	Aucune régulation automatique: l'installation fonctionne en continu (p. ex. commutateur manuel)	Régulation basée sur la présence: l'installation fonctionne en fonction de l'occupation effective (interrupteurs, capteurs infrarouges, etc.)
Régulation de la température ambiante par l'installation de ventilation	Régulation en continu: débit d'air ou température de l'air fourni avec consigne variable au niveau du local; les valeurs de consigne pour la température ambiante sont réglées par local	Débit d'air et température de l'air fourni avec consigne variable au niveau du local avec compensation de la charge de chauffage/frigorifique
Régulation automatique du débit d'air ou de la pression au niveau de la centrale de traitement d'air	Régulation à 2 points en fonction des horaires: débit fourni en continu pour une charge maximale de tous les locaux pendant la période d'occupation nominale	Régulation automatique du débit d'air ou de la pression avec réinitialisation de la pression: débit d'air fourni en fonction de la charge pour les besoins de tous les locaux raccordés
<b>Régulation de l'éclairage</b>		
Commande basée sur l'occupation	Interrupteur manuel marche/arrêt	Commande en fonction de la présence: l'installation fonctionne en fonction de l'occupation effective (interrupteurs, capteurs infrarouges etc.)
Régulation de l'intensité lumineuse	Manuellement par local/zone; il est possible d'éteindre les lampes avec un interrupteur manuel dans le local	Variateur automatique: l'éclairage est réduit lorsque la lumière du jour augmente
<b>Commande des stores</b>		
Commande des stores	Régime manuel ou fonctionnement motorisé avec commande manuelle	Régulation combinée de l'éclairage, des stores et des installations CVC pour l'optimisation énergétique des différentes installations en fonction de l'occupation des locaux
<b>Gestion technique des foyers domestiques et du bâtiment</b>		
Gestion des horaires de fonctionnement	Enclenchement manuel (mise en marche de l'installation)	Régulation individuelle selon programme temporel défini; phases variables de préconditionnement
Informations relatives à la consommation d'énergie	Uniquement information sur valeurs actuelles (p. ex. températures, valeurs de mesures)	Analyse, évaluation de la performance, évaluation d'aspects environnementaux et énergétiques à l'intérieur
Récupération de chaleur et redistribution de la chaleur	Utilisation immédiate des rejets thermiques ou redistribution de la chaleur	Commande de l'utilisation des rejets thermiques ou de la redistribution de la chaleur

Tableau 3.10: Fonctions GTB qui influencent l'efficacité énergétique des bâtiments (sélection). (Source: EN 15232-1)

des réseaux filaires et du traitement centralisé des données. Ces systèmes sont de plus en plus remplacés par des appareils décentralisés et moins coûteux. Ils ne sont pas connectés à un ordinateur central, mais entre eux via des réseaux sans fil et le cloud. Ce réseau d'objets physiques interconnectés est appelé IoT et ouvre un large éventail d'utilisations dans le bâtiment.

Les sondes et compteurs filaires conventionnels, par exemple pour la consommation d'électricité et de chaleur, sont de plus en plus remplacés par des sondes sans fil et plus économiques. Il est possible de les poser en grand nombre et indépendamment du câblage existant du bâtiment. Les bâtiments et leurs systèmes sont ainsi surveillés de près. Cela améliore à son tour la compréhension du bâtiment, de ses installations et de ses utilisateurs. En fin de compte, cela permet une optimisation plus efficace.

En outre, la technologie IoT rend possibles de nouvelles applications. L'optimisation automatisée des locaux (en anglais: Workspace Management) en est un exemple. L'occupation des locaux et des postes de travail est enregistrée à l'aide de nombreux détecteurs de présence. Le but de l'analyse de ces données est l'allocation dynamique des ressources en fonction des besoins de l'exploitation. À l'inverse, lors de la planification, les ressources peuvent également être adaptées aux besoins ce qui permet d'augmenter l'efficacité énergétique.

### 3.12 Utilisation de la chaleur perdue

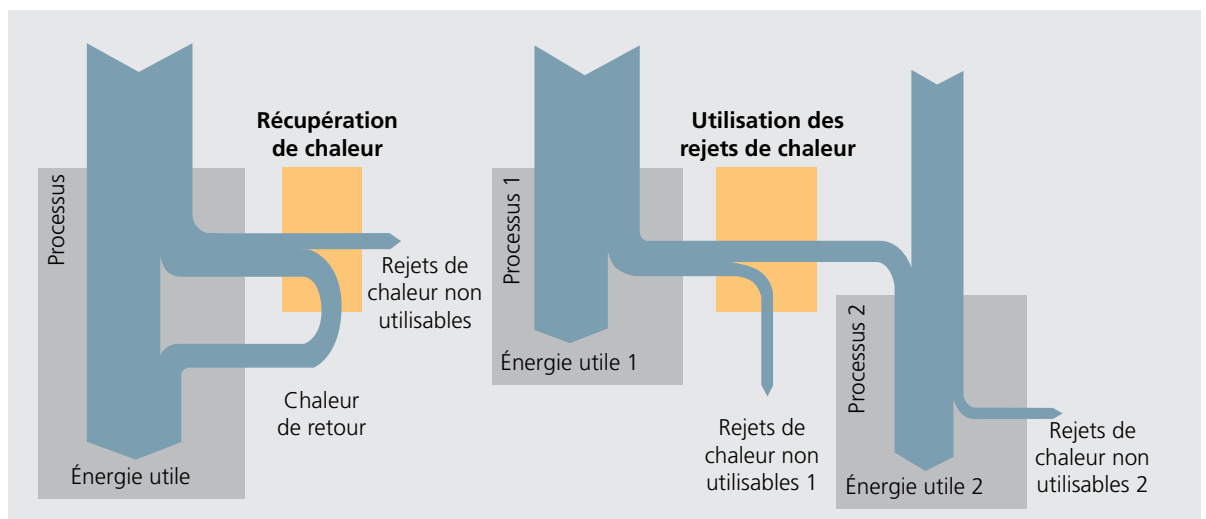
Par utilisation de la chaleur perdue (UCP), on entend la réutilisation de la chaleur générée par un processus, qui est sinon évacuée sans être utilisée. La récupération de chaleur (RC) est la forme la plus connue d'UCP et utilisée depuis longtemps pour les installations de ventilation. Elle n'est pas abordée ici.

Les rejets thermiques sont générés principalement dans l'artisanat et l'industrie ainsi que dans la climatisation et le refroidissement des bâtiments tertiaires et des installations sportives. Elle est en général utilisée pour chauffer et produire de l'eau chaude. Dans le cadre d'une OéE, le défi consiste à tirer un profit maximum de l'énergie inutilisée. Le potentiel est souvent élevé ce qui justifie une attention particulière. Il est primordial d'analyser avec précision la source des rejets de chaleur (apport de chaleur). Il faut déterminer au moyen de mesures de température et d'analyses liées à des compteurs de chaleur, quand où et à quel niveau de température cette chaleur est générée. Afin de pouvoir l'utiliser de manière optimale, les caractéristiques de ceux qui reprennent cette chaleur (puits) doivent également être mesurées. Il s'agit généralement du préchauffage de l'eau sanitaire et du préchauffage du retour des groupes de chauffage.

Afin de renforcer l'UCP, l'objectif est de baisser les températures autant que pos-

**Angelo Lozza**

*Illustration 3.49:  
Différence entre RC  
et UPC. (Source:  
BMS-Energetechnik  
AG)*



sible dans les puits, par exemple en optimisant les courbes de chauffe (voir chapitre 3.3). Les températures retour ne devraient pas être augmentées par mélange côté consommateurs. Dans la pratique, cela arrive souvent en raison de bypasses cachés (illustration 3.50). Il est aussi possible de différencier certains groupes de consommateurs: seuls ceux présentant des températures de retour basses seront desservis par l'UCP. Des exemples souvent rencontrés sont décrits ci-dessous et illustrent l'utilisation de la chaleur perdue dans les domaines de transformation d'énergie, du stockage et auprès des consommateurs.

### Rejets thermiques des machines frigorifiques

Il s'agit d'abord de clarifier précisément les exigences de confort et de fonctionnement des utilisateurs et des processus. Sur cette base, les besoins en froid sont ensuite réduits autant que possible. Il faut

également vérifier s'il existe des «faux» besoins de chauffage et de froid, respectivement des besoins de durée trop longue qui pourraient induire des demandes simultanées de chauffage et de refroidissement. Ces fonctionnements simultanés doivent être évités, par exemple en verrouillant la climatisation estivale lors de basses températures extérieures ou en

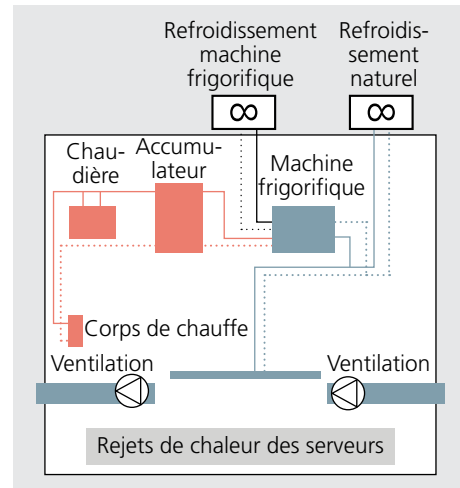


Illustration 3.52: Exemple d'une installation avec refroidissement d'un local de serveurs. (Source: Angelo Lozza, Lozza Energie und Gebäudetechnik)

Illustration 3.50: Besoins réels pour le chauffage et le refroidissement, séparés par une zone morte. (Source: Angelo Lozza, Lozza Energie und Gebäudetechnik)

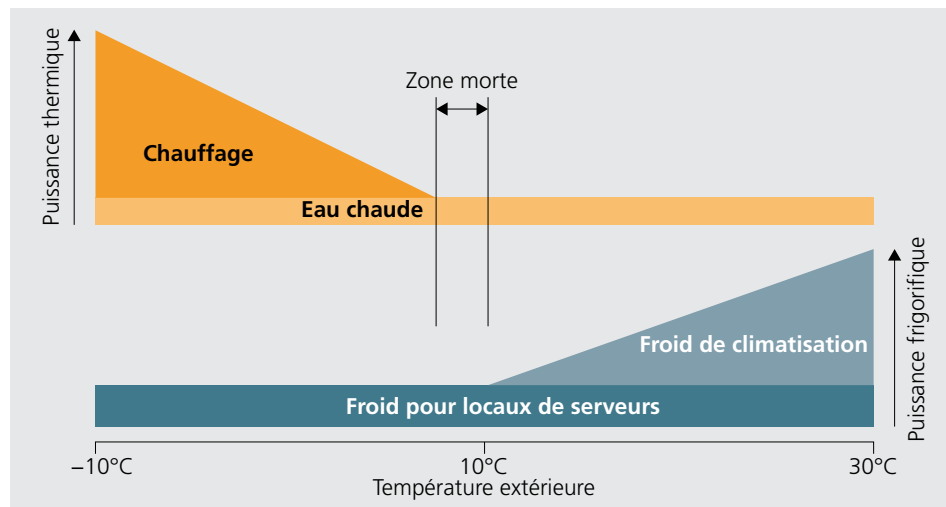
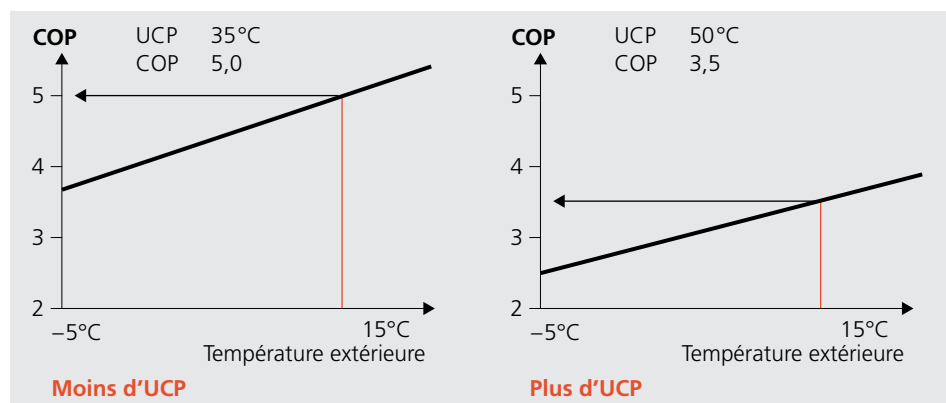


Illustration 3.51: Utilisation des rejets de chaleur générés par des installations frigorifiques avec des niveaux de température différents.





optimisant la limite de chauffage (chapitre 3.3). Une «zone morte» est ainsi établie où le chauffage et le refroidissement simultanés sont exclus.

Les machines frigorifiques couvrant des besoins toute l'année, par exemple pour refroidir des locaux serveur (illustration 3.52), représentent un potentiel très important, car la chaleur perdue peut être utilisée toute l'année pour préchauffer les fluides de chauffage, l'eau chaude sanitaire ou encore pour post-chauffer des flux d'air. En cas de besoins simultanés de chauffage et de froid, l'UCP devrait avoir la priorité par rapport au refroidissement naturel (air extérieur). Il est ainsi possible d'économiser de l'énergie fossile pour la production de chaleur, car l'énergie d'une machine frigorifique est générée avec un effort d'environ 1/EER seulement. L'EER (Energy Efficiency Ratio) est le coefficient de performance d'une machine frigorifique et se situe en moyenne entre 4 et 7. À défaut de besoin de chaleur, le système de froid devrait basculer en mode Freecooling ou refroidissement de retour avec des températures de condensation aussi basses que possible et diminuant progressivement en fonction de la température extérieure.

Dans des cas isolés, il est possible de commander la température de l'UCP en augmentant la température de condensation de la machine frigorifique en mode UPC: le coefficient de performance frigorifique baisse, comparé au fonctionnement normal. Cependant, la chaudière a besoin de fonctionner moins longtemps et l'efficacité globale de la production de chaleur et de froid est améliorée. De plus, des températures élevées permettent d'émettre une plus grande quantité de chaleur, en particulier dans les systèmes plus anciens avec des températures aller élevées. Le niveau de température optimal doit être évalué au cas par cas.

La situation est différente avec les désurchauffeurs qui ont des rejets thermiques plus élevés et continus allant de 50 à 80°. Ils peuvent être utilisés indépendamment de la température de condensation, mais nécessitent, pour la machine frigorifique, un condenseur supplémentaire en

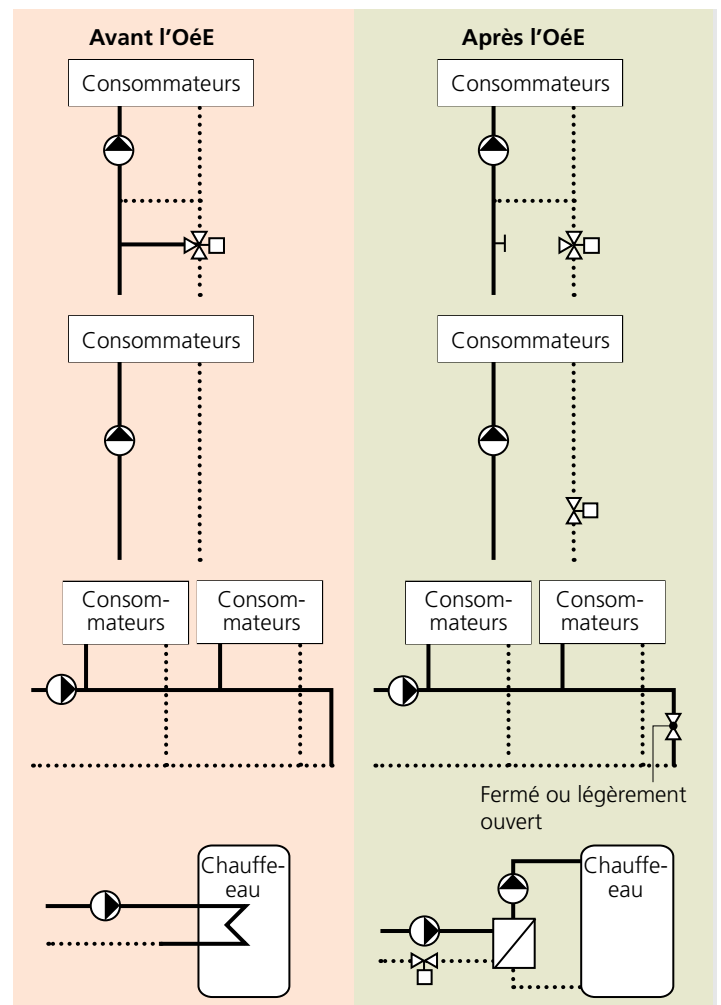
amont. Le taux des rejets thermiques du désurchauffeur représente environ 10 à 20 % des rejets thermiques totaux.

### Rejets thermiques des compresseurs à air comprimé

Les rejets thermiques des compresseurs sont uniquement générés pendant les périodes d'utilisation. Ils ont une température allant de 30°C à 70°C, ceci en fonction du type d'appareil. Il s'agit d'optimiser en premier lieu du côté air comprimé en déterminant le potentiel de perte et en le réduisant autant que possible.

Moteur, compresseur et refroidissement de l'air comprimé génèrent environ 80 % des rejets thermiques, comme le montre l'illustration 3.43 à la page 70. Si des systèmes UPC sont rajoutés pour chauffer de l'eau, les temps d'amortissement du capital investi sont souvent très courts. Des solutions avantageuses consistent entre autres à

*Illustration 3.53: Les circuits avec étranglement hydraulique rendent possibles des basses températures de retour. (Source: Angelo Lozza, Lozza Energie)*



amener l'air chaud repris à travers l'installation de ventilation dans des dépôts ou autres locaux secondaires à chauffer.

### Rejets thermiques des processus industriels

Le niveau de température des rejets thermiques des processus de production est généralement compris entre 40 et 300 °C (voir aussi le paragraphe Chaudières avec condensation des gaz de combustion au chapitre 3.3). Il s'agit d'abord de limiter au maximum les déperditions thermiques en recourant à des machines efficaces, l'isolation thermique et la régulation. La chaleur récupérée est toujours utilisée dans le processus initial et seulement en deuxième priorité utilisée à d'autres fins.

La chaleur de processus est généralement générée toute l'année et peut être utilisée pour le chauffage et la production d'eau chaude. Comme précédemment, il faut s'assurer que les températures retour des réseaux de chauffage soient basses. Cela augmente le rendement thermique. L'illustration 3.54 met en évidence comment modifier les circuits hydrauliques et lesquels. L'étanchéité des vannes est aussi à contrôler. Pour les entreprises de production avec des flux de chaleur et de froid plus complexes, on peut recourir aux «Analyses Pinch» [12]. Elles englobent l'analyse des besoins en énergie, l'économie optimum et les mesures possibles.

### Rejets thermiques des eaux usées

En général, pour que la chaleur des eaux usées soit utilisable, sa température doit être élevée au niveau de température requis à l'aide d'une pompe à chaleur. Le chapitre 3.3 aborde ce point.

### Gestion des accumulateurs pour l'UCP

En règle générale, un accumulateur thermique est utilisé pour l'UCP. Une gestion optimale des accumulateurs comprend:

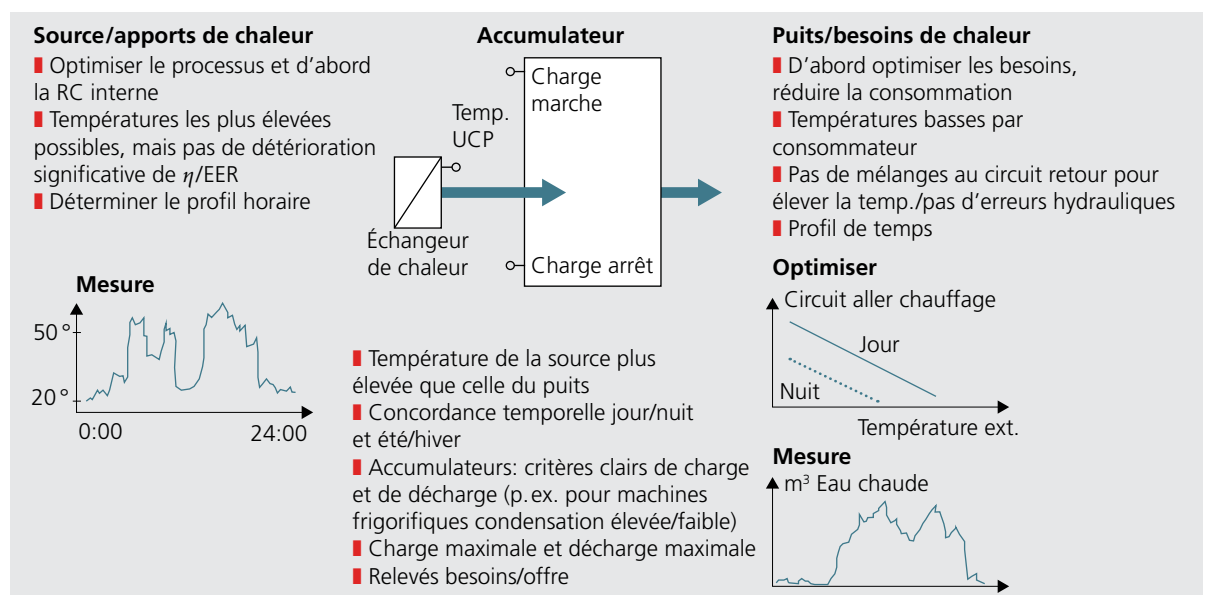
- Renseignements sur le niveau de charge à atteindre, à savoir: l'accumulateur commence à être chargé dès que sa température est plus basse que la température de consigne des consommateurs. Pour le chauffage, la température de consigne découle de la courbe de chauffe.

- L'UCP fonctionne uniquement lors d'une demande de chaleur pour le chauffage ou la production d'eau chaude sanitaire.

- Renseignements sur l'apport de chaleur: dès que la température de l'UCP est supérieure à celle de l'accumulateur, elle se met en marche et fonctionne jusqu'à ce que l'accumulateur soit plein.

L'UCP doit être surveillée en continu. Si les rejets de chaleur diminuent en raison de défauts, le producteur de chaleur fossile ou électrique les compense. En raison de l'automatisation, ce problème n'est souvent pas détecté.

Illustration 3.54: Caractéristiques et objectifs les plus importants en termes de source/puits de chaleur, s'il s'agit de maximiser les rejets de chaleur utilisables. (Source: Angelo Lozza, Lozza Energie)



### 3.13 Alimentation en énergie électrique

#### Transformateurs

**Volker Wouters**

Les transformateurs de réseau convertissent la moyenne tension du réseau public en basse tension en fonction des exigences des consommateurs. Pour les transformateurs, deux types de perte d'énergie sont à relever:

- Pertes à vide (pertes «fer»)
- Pertes de charge (pertes «cuivre»)

Les pertes à vide sont indépendantes de la charge et constantes pendant que le transformateur est enclenché. Les pertes de charge dépendent du niveau de charge du transformateur et augmentent proportionnellement au carré de la charge (illustration 3.56).

Afin d'éliminer complètement les pertes à vide, il ne suffit pas de séparer du réseau le transformateur du côté secondaire. Il devrait être aussi déclenché du côté moyenne tension. Lorsque plusieurs transformateurs sont prévus pour des raisons de redondance cette opération peut valoir la peine. L'exemple suivant le démontre: un transformateur d'une puissance nominale de 630 kVA (illustration 3.55) a une perte à vide d'environ 1,5 kW, ce qui représente une perte annuelle d'énergie d'environ 13 000 kWh. Cela correspond à peu près à la consommation énergétique de trois villas de taille moyenne.

La capacité des transformateurs de réseau est dimensionnée en fonction de la puissance maximale prévue. Pour des raisons

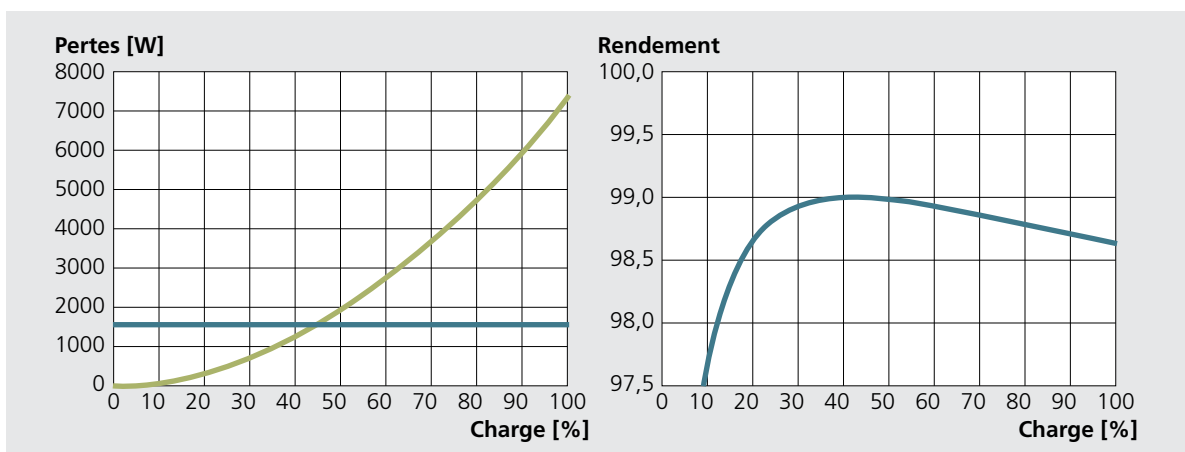
de sécurité d'approvisionnement, ils sont souvent installés de manière redondante. En cas de fonctionnement en parallèle, la puissance disponible des transformateurs peut être réduite par déclenchement en dehors des durées de fonctionnement. La puissance dissipée donc la perte énergétique est ainsi réduite.

#### Groupes électrogènes de secours

Les groupes électrogènes de secours alimentés au diesel sont souvent installés pour alimenter en électricité les parties critiques des installations en cas de coupure de courant ou de panne de réseau. Pour qu'ils puissent démarrer à tout moment, l'eau de refroidissement du système est préchauffée en principe électriquement. Les déperditions de chaleur qui en résultent sont influencées par les éléments suivants:

- Emplacement (à l'intérieur/à l'extérieur)
- Isolation
- Commande du chauffage
- Étanchéité du local du groupe de secours

Dans le cadre d'une OéE, il faut vérifier si l'eau de refroidissement peut être préchauffée par les rejets de chaleur issus du bâtiment. Sont à considérer les rejets de chaleur issus d'une production de froid fonctionnant toute l'année, par exemple pour les centres de traitement informatiques. Le chauffage ou réchauffage électrique de l'eau peut alors être utilisé uniquement comme redondance, ou complètement.



*Illustration 3.55: Pertes d'un transformateur de type sec de 630 kVA. (Source: Siemens)*

### 3.14 Photovoltaïque

Les installations photovoltaïques (installations PV) génèrent de l'énergie électrique renouvelable et sont ainsi un moyen important pour réduire les émissions de CO<sub>2</sub>. Elles réduisent en outre la consommation d'énergie électrique du réseau public et peuvent ainsi contribuer à réduire les coûts énergétiques. Elles sont aussi utilisées lorsque les installations ou bâtiments doivent être exploités de manière aussi autonome que possible. Dans ce cas, elles sont combinées en partie avec un accumulateur d'électricité. Étant donné une diminution de la performance (dégradation) d'environ 0,6 % par an, les installations PV ont généralement une durée de vie de 25 à 30 ans. Dans le cadre d'une OéE, les points suivants sont à remplir et contrôler périodiquement afin de garantir le fonctionnement optimal d'une installation PV:

- Les panneaux doivent être nettoyés régulièrement. S'ils sont sales ou recouverts de l'énergie (SGE) pour garantir que l'électricité produite est utilisée le plus directement possible. Les systèmes avec accumulateurs techniques sont particulièrement adaptés au système de gestion de l'énergie. Il s'agit notamment des chauffages par pompe à chaleur, des chauffe-eau électriques et des bornes de recharge pour véhicules électriques. Les pompes à chaleur réversibles pour tempérer et/ou soutenir la régénération de sondes géothermiques en été peuvent aussi contribuer à
- Les panneaux doivent être nettoyés régulièrement. S'ils sont sales ou recouverts de des objets, ils peuvent vieillir plus rapidement ou même tomber en panne.
- Le toit doit être bien entretenu. En cas de toits végétalisés, s'assurer que les plantes ne créent pas de l'ombre sur les panneaux. Les ombres portées réduisent de 50 à 70 % le rendement, de manière analogue aux salissures.
- Contrôler régulièrement la production afin de détecter les défauts ou défaillances en temps utile.

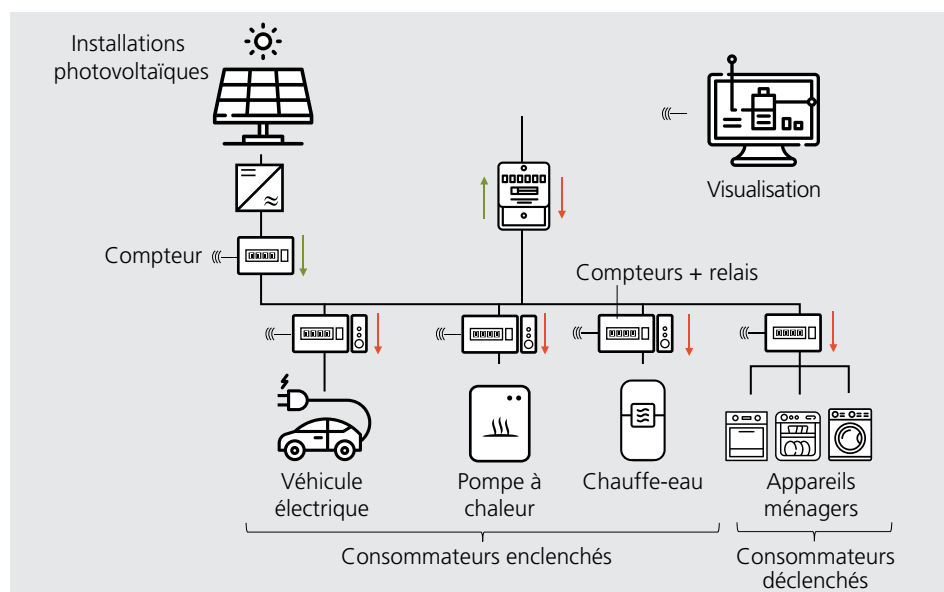
■ Si l'onduleur est connecté à une plateforme de surveillance, les valeurs de consigne dépendant de la météo peuvent être comparées aux valeurs de rendement. Une telle plate-forme montre en outre l'état de fonctionnement et toute défaillance.

■ Il faut garantir que les rejets de chaleur de l'onduleur sont évacués de manière efficace.

■ Des inspections visuelles régulières (tous les 2 à 3 ans) permettent de détecter les signes de détérioration sur les panneaux à un stade précoce et éviter les dommages consécutifs.

Afin d'augmenter encore davantage la rentabilité de l'installation PV, l'autoconsommation de l'électricité produite doit être aussi élevée que possible. Une OéE offre une occasion d'instruire les utilisateurs ou d'intégrer un système de gestion de l'énergie. Les systèmes avec accumulateurs techniques sont particulièrement adaptés au système de gestion de l'énergie. Il s'agit notamment des chauffages par pompe à chaleur, des chauffe-eau électriques et des bornes de recharge pour véhicules électriques. Les pompes à chaleur réversibles pour tempérer et/ou soutenir la régénération de sondes géothermiques en été peuvent aussi contribuer à

**Illustration 3.56:**  
Les systèmes de gestion des charges attribuent l'électricité produite en fonction des consommateurs et augmentent ainsi l'autoconsommation.  
(Source: David Zogg, FHNW)



une augmentation de l'autoconsommation de l'électricité photovoltaïque produite sur place.

L'intégration d'un accumulateur électrique est une autre possibilité pour optimiser l'autoconsommation. Il aide en même temps à réduire les pics de puissance et augmenter le taux d'autonomie. Les paramètres suivants permettent un dimensionnement grossier de l'accumulateur en kWh<sub>el</sub>:

- 1 ‰ de la production annuelle de l'installation photovoltaïque
- 1 ‰ des besoins respectivement de la consommation annuelle du bâtiment

La valeur inférieure de ces deux paramètres est généralement une grandeur de référence judicieuse. Il est possible que des aspects supplémentaires tels que le profil de charge de la consommation influencent le dimensionnement exact.

### 3.15 Solaire thermique

Les installations solaires thermiques peuvent aussi être subdivisées dans les domaines génération, distribution et émission. Des optimisations énergétiques de l'exploitation sont possibles dans chaque domaine. Ces installations sont utilisées entre autres pour:

- Chauffer ou préchauffer l'eau chaude sanitaire.
- Chauffage d'appoint (direct ou indirect). En cas de pompes à chaleur, chauffer la source froide par l'énergie solaire amène un meilleur coefficient de performance annuel et réduit ainsi les coûts énergétiques.
- Régénérer des sondes géothermiques.
- Chauffer l'eau des piscines.
- Produire de la chaleur de processus pour l'industrie, les blanchisseries industrielles ou les stations de lavage pour voitures.
- Refroidir à l'aide de l'énergie solaire par rafraîchissement basé sur le procédé de sorption.

Dans la pratique, ces applications sont souvent combinées entre elles.

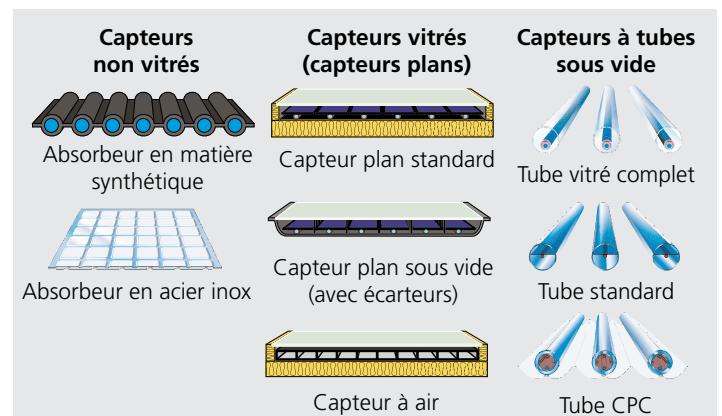
#### Températures à la livraison

Pour le chauffage, le niveau de température est défini par les exigences provenant du côté consommateurs. Les installations solaires thermiques fournissent toutefois des températures variées ceci en fonction de la météo et du type de capteurs utilisés. Voici les zones usuelles de températures maximales selon le type de capteur:

- Capteurs non vitrés: 10 – 40 °C
- Capteurs plans vitrés: 30 – 60 °C
- Capteurs sous vide: jusqu'à 100 °C

Matthias Balmer

*Illustration 3.57: Types de capteur solaire. (Source: Technique du bâtiment, aide au dimensionnement, SuisseEnergie)*



La température de sortie des capteurs solaires est régulée au moyen du débit du fluide. Trois gammes de débits sont possibles pour les capteurs:

■ **Low-Flow:** 15–30 l/m<sup>2</sup> h – niveau de température élevé avec gradient élevé de température.

■ **High-Flow:** 30–60 l/m<sup>2</sup> h – niveau de température bas avec gradient faible de température.

■ **Matched-Flow:** débit variable entre 15–60 l/m<sup>2</sup> h – régulé en fonction de la valeur de consigne fixée à la sortie du capteur.

En principe, le flux dans les capteurs est maintenu plutôt bas afin de favoriser une température de sortie élevée.

### Pression de l'installation

La règle empirique suivante est admise pour une pression optimale de l'installation: pression statique définie par la différence de hauteur entre les capteurs et l'accumulateur, additionné de 0,5 bar. La pression doit être contrôlée périodiquement. Elle baisse souvent en cours de fonctionnement en raison des inétanchéités du système hydraulique. Les vases d'expansion généreusement dimensionnés et la purge régulière sont les conditions pour un fonctionnement sûr et efficace de l'installation.

**Remarque:** lors de la purge, il arrive souvent que le fluide caloporteur, en principe un mélange eau-glycol, s'écoule en premier. Il est important de toujours placer un récipient sous le robinet de purge afin d'éviter que le fluide caloporteur se déverse sur le sol.

### Régulation

Les installations solaires thermiques sont mises en fonction selon le principe de

l'offre (apports solaires) et la demande (niveau de température requis pour l'utilisation). La régulation s'effectue en comparant la température du fluide caloporteur dans les capteurs avec la température d'utilisation requise. La différence de température optimale pour la commande de la pompe est déterminée le plus simplement par essais et mesures. Il est décisif de pouvoir assurer la température aller requise ou souhaitée pour l'intégration dans le système. Une condition préalable à une mesure fiable de la température aux capteurs est l'emplacement et l'isolation correcte de la sonde. Elle est posée en principe à l'abri du vent, à la sortie du fluide sur la face inférieure des capteurs.

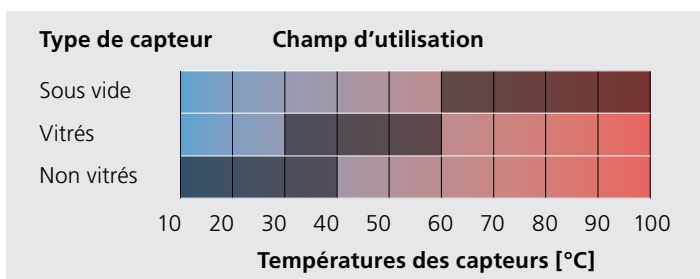
### Accumulation

Si la chaleur solaire est utilisée via un accumulateur, il faut vérifier que la stratification de l'accumulation fonctionne. À cet effet, il faut comparer les températures d'entrée du circuit aller des capteurs dans l'accumulateur thermique avec les températures régnant aux différents niveaux de l'accumulateur. En cas d'accumulateur sans stratification, l'énergie provenant des capteurs solaires se transmet par un échangeur de chaleur interne de l'accumulateur dans la zone la plus basse de l'accumulateur thermique.

### Isolation

Les épaisseurs minimales d'isolation des conduites hydrauliques correspondent en principe au minimum aux exigences du MoPEC 2014. Le contrôle visuel de l'isolation révèle d'éventuels défauts. Dans le cadre d'une OéE, il est presque toujours judicieux de faire éliminer ces défauts.

*Illustration 3.58: Champs d'utilisation des types de capteurs en fonction du niveau de température. (Source: energie-solaire.ch)*



### 3.16 Bibliographie

- [1] Société suisse des ingénieurs et des architectes: Norme 385/1, Installations d'eau chaude sanitaire dans les bâtiments – Bases générales et exigences (édition 2011)
- [2] Société Suisse de l'Industrie du Gaz et des Eaux: Directive pour l'hygiène dans les installations d'eau potable (édition 2018)
- [3] Société Suisse de l'Industrie du Gaz et des Eaux: Directive Exploitation et maintenance des installations sanitaires (édition 2013)
- [4] Société Suisse de l'Industrie du Gaz et des Eaux: Directive Protection contre les retours d'eau dans les installations sanitaires (édition 2013)
- [5] Brunner, Arnold; Kriegers, Michael; Prochaska, Vladimir; Tilenkamp, Frank: Klimakälte heute, Kluge Lösungen für ein angenehmes Raumklima, Faktor Verlag 2019
- [6] Office fédéral de l'énergie: Guide «Production efficiente de froid»
- [7] SuisseEnergie, Office fédéral de l'énergie: Guide «Réduisez vos charges par un Froid Efficace!!»
- [8] Société suisse des ingénieurs et des architectes: Cahier technique 2048:2015. Optimisation énergétique de l'exploitation. Société suisse des ingénieurs et des architectes.
- [9] Comité Européen de Normalisation: EN 15232-1:2017 (SIA 386.111) (2017), Performance énergétique des bâtiments – Partie 1: Impact de l'automatisation, de la régulation et de la gestion technique.
- [10] Arbeitskreis Maschinen- und Elektrotechnik AMEV, Empfehlung Nr. 135 (2017). Technisches Monitoring als Instrument zur Qualitätssicherung. Berlin
- [11] Vetterli, Nadège; Steiger, Olivier: Planung und Durchführung eines technischen Monitorings, Schweizer Energiefachbuch, pp. 129–131, 2019.
- [12] [www.pinch-analyse.ch](http://www.pinch-analyse.ch), Hochschule Luzern, consulté en novembre 2019





# Méthodologie

## 4.1 Contexte général et exploitation à l'état actuel

**Ernst Sandmeier**

Un projet OéE commence toujours par une analyse attentive de l'état actuel et implique de réunir de nombreuses informations et données techniques (voir chapitre 4.2). Les informations sur l'organisation des entreprises qui exploitent et/ou possèdent les installations sont tout aussi importantes, car elles permettent d'identifier les bons interlocuteurs et donnent parfois des clefs de lecture pour l'analyse proprement dite. Il s'agit par exemple des organes de direction, des sections significatives et de leurs rôles. Les sites Internet des entreprises renseignent souvent à ce sujet. Les questions types ci-dessous aident à rassembler des informations utiles:

- Quels processus, installations, utilisateurs et autres facteurs influencent la consommation d'énergie de manière significative? Il pourrait s'agir du climat/de la météo, des volumes de production, des heures de production/fonctionnement, de la fonction et du rendement des installations de récupération de chaleur ou de la valorisation des rejets thermiques, etc.
- Qui s'occupe des installations principales? S'agit-il du service technique interne ou d'un prestataire externe?
- Quelles quantités et quels types de produits l'entreprise fabrique-t-elle? Les types de produits et les volumes de production sont-ils en corrélation avec la consommation d'énergie?
- Quels modes de fonctionnement sont typiques de l'entreprise? (plein régime, régime réduit, arrêt de l'installation, mode veille, etc.)
- Un accès à distance à l'automatisation du bâtiment est-il possible?

## 4.2 Obtenir, vérifier et contrôler la plausibilité des données

Les données nécessaires pour une OéE réussie sont décrites en détail dans la SIA 2048, annexe 1 [1]. Elles sont reproduites ici de manière regroupée et légèrement adaptée dans les tableaux 4.1 et 4.2. Les données requises peuvent être schématiquement réparties dans les groupes suivants (voir tableaux 4.1 et 4.2):

- Informations sur les installations
- Informations sur l'énergie

Documents, informations	Domaine	Détails
<b>Informations sur les installations</b>		
Liste des installations	Électricité	Transformateurs, éclairage de sécurité, ASC, groupes électrogènes de secours, etc.
	Serveurs	
	Éclairage	Valeurs caractéristiques, heures de fonctionnement
	Automation du bâtiment	
	Protection solaire	Valeurs de consigne, resp. critères pour monter/baisser
	Producteur de chaleur	Puissance en kW, âge, agent énergétique, heures de fonctionnement, rendement
	Chauffe-eau et accumulateur ECS	Capacité, année de construction, avec/sans circulation d'eau chaude, rubans chauffants électriques
	Traitement d'eau	Adoucissement, osmose, etc.
	Froid (froid industriel, climatisation)	Fluide frigorigène, puissance (thermique et électrique, COP), heures de fonctionnement/année, températures d'évaporation et de condensation
	Ventilation	Débits d'air, avec/sans RC, conditionnement de l'air fourni, année de construction, classes de filtres, classe énergétique
Année de construction	Toutes les installations	Dates des éventuels assainissements
Procès-verbaux de mise en service et de réception	Toutes les installations	
Données d'exploitation	Toutes les installations essentielles	P. ex. heures de fonctionnement d'une pompe à chaleur
Documents/plans de révision, instructions pour l'exploitation des installations techniques	Électricité/communication, chauffage, froid, ventilation/climatisation, sanitaire etc., valeurs de consigne	
Plans, schémas	Schéma de principe des installations techniques	Électricité/communication, chauffage, froid, ventilation/climatisation, sanitaire, etc.
	Schéma de principe de l'automation du bâtiment	Topologie
	Schémas des tracés pour le chauffage et le sanitaire	
Documentations des rénovations, changements, mises en état et changements d'utilisation envisagés ou réalisés	Toutes les installations	
Descriptions des fonctions et des réglages	Courbes de chauffe, limite de chauffage, régime nocturne	Valeurs planifiées initialement et valeurs réglées à l'état actuel
	Valeurs de consigne	P. ex. températures, qualité de l'air ambiant
	Programmes de minuterie	
	Données de mesure/de tendance du système GTB	
Contrôle du fonctionnement des mesures de protection	Anémomètre, p. ex.	

Tableau 4.1: Liste des données essentielles des installations et du bâtiment, nécessaires à une O&E réussie.

Documents, informations	Domaine	Détails
<b>Informations sur le bâtiment, son utilisation et son enveloppe</b>		
Plans, év. coupes et façades	Tous les bâtiments	Échelle 1:100, si possible fichiers pdf, sinon impressions A3
Zones d'utilisation, dans le cas idéal, programme des locaux avec toutes les indications, périodes d'utilisation typiques, vacances	Surfaces utiles, places assises et postes de travail	
	Exigences concernant les locaux	Températures, taux d'humidité, qualité de l'air etc.
	Affectations spéciales	P. ex. cuisines professionnelles, locaux serveur, production, centre d'appel avec service 24 heures sur 24
Automation du bâtiment	Type d'accès à distance	Adresse, protocole, logiciels requis
Nettoyage	Types de nettoyages	
	Horaires des nettoyages	Heures, jours
	Utilisation d'eau chaude pour le nettoyage	
Problèmes de confort identifiés	Provoqués par la technique du bâtiment ou l'enveloppe	Trop chaud, trop froid, moisissures, bruit, courants d'air, etc.
Concept de maintenance	Tous les bâtiments significatifs	
<b>Informations sur l'énergie et l'eau</b>		
Données des consommations fournies par les gestionnaires de réseau/entreprises d'approvisionnement; pour les grands consommateurs, les gestionnaires de réseau fournissent des valeurs au quart d'heure par voie électronique	Électricité	Pour les pompes à chaleur, données séparées si possible
	Gaz, mazout, chaleur à distance, eau	Dans le cas idéal, valeurs journalières ou hebdomadaires des trois dernières années; au minimum, valeurs mensuelles ou annuelles.
Relevés de l'état actuel de tous les compteurs	Électricité, gaz, mazout, chaleur à distance, eau, eau chaude, etc.	Numéro de compteur, date, heure, unité, facteur de conversion, consommateurs raccordés
Données des (sous-)compteurs privés	Électricité, chaleur, froid, eau froide, eau chaude sanitaire (réalimentation chauffe-eau/accumulateur d'eau chaude), eaux grises (quelle utilisation?), eaux de pluie (quelle utilisation?), eau traitée (eau adoucie et osmosée), etc.	Valeurs mensuelles ou annuelles des trois dernières années; encore mieux, valeurs hebdomadaires journalières ou horaires
	Heures de fonctionnement	
	Concept de mesure	Qu'est-ce qui est exactement mesuré?
	Facteurs de conversion, date (année) de l'installation	
Tarifs énergétiques actuels	Électricité	Tarif haut/bas, été/hiver, puissance de pointe, puissance/énergie réactive, utilisation du réseau, taxes
	Agent énergétique	Mazout, gaz (gaz naturel, propane, biogaz, butane), chaleur à distance, biomasse, etc.
	Eau, eaux usées	
Coûts énergétiques, idéalement des trois dernières années: comparaison des factures avec les données des compteurs	Formes d'énergie avec réinjection	Installations photovoltaïques ou biogaz, p. ex.
	Électricité	Utilisation du réseau, fourniture d'énergie
	Chaleur	Gaz, mazout, chaleur à distance, biomasse, etc.
	Carburants	Type de carburant
	Eau, eaux usées	

Tableau 4.2: Liste des données énergétiques essentielles, nécessaires à une OéE réussie.

### 4.3 Relever, analyser et représenter les données

#### Visite

Une visite après avoir pris connaissance des documents sert à :

- Obtenir une impression visuelle des installations.
- Acquérir une vue d'ensemble des installations existantes, récolter les données de base qui n'ont pas été fournies par le mandant; c'est aussi une occasion de vérifier que les documents et données sont bien à jour.

Lors de la visite, les valeurs supplémentaires à relever sont également déterminées. Ces relevés devraient être effectués au minimum pendant une semaine, voire même un mois. Cela permet d'enregistrer un nombre maximal de modes de fonctionnement des installations concernées. Remarque: il faut préciser dans l'offre et dans le contrat entre le spécialiste O&E et le mandant qu'il n'est pas possible d'évaluer à l'avance et de manière fiable les mesures qui seront nécessaires en fin de compte. Ce point est à préciser explicitement dans le descriptif des prestations partielles correspondantes. Il faut préciser en outre que ces mesures seront facturées «selon le temps employé».

#### Méthodes d'analyse graphiques

Après avoir récolté toutes les données, celles-ci sont analysées. L'analyse des séries chronologiques est plus aisée en superposant les courbes de certains paramètres en fonction des jours de la semaine (illustration 4.1). Ceci permet d'identifier d'un seul coup d'œil les plages horaires d'exploitation d'une entreprise et souvent de reconnaître des motifs horaires simples. L'illustration 4.1 montre par exemple la superposition des données de consommation des dimanches et des lundis. Il en ressort par exemple, que le besoin en puissance est resté autour de 50 kW le lundi de Pâques et de Pentecôte, car les activités étaient arrêtées.

Ces deux graphiques induisent notamment les questions suivantes:

- Quels appareils d'une puissance continue d'environ 50 kW fonctionnent en permanence?
- Que s'est-il passé certains dimanches entre 7 h et 14 h?
- Quelle est la cause de la grande variabilité constatée très tôt le matin?

Cet exemple étant issu de l'évaluation d'un compteur principal, les écarts sont susceptibles d'être liés aux conditions de production.

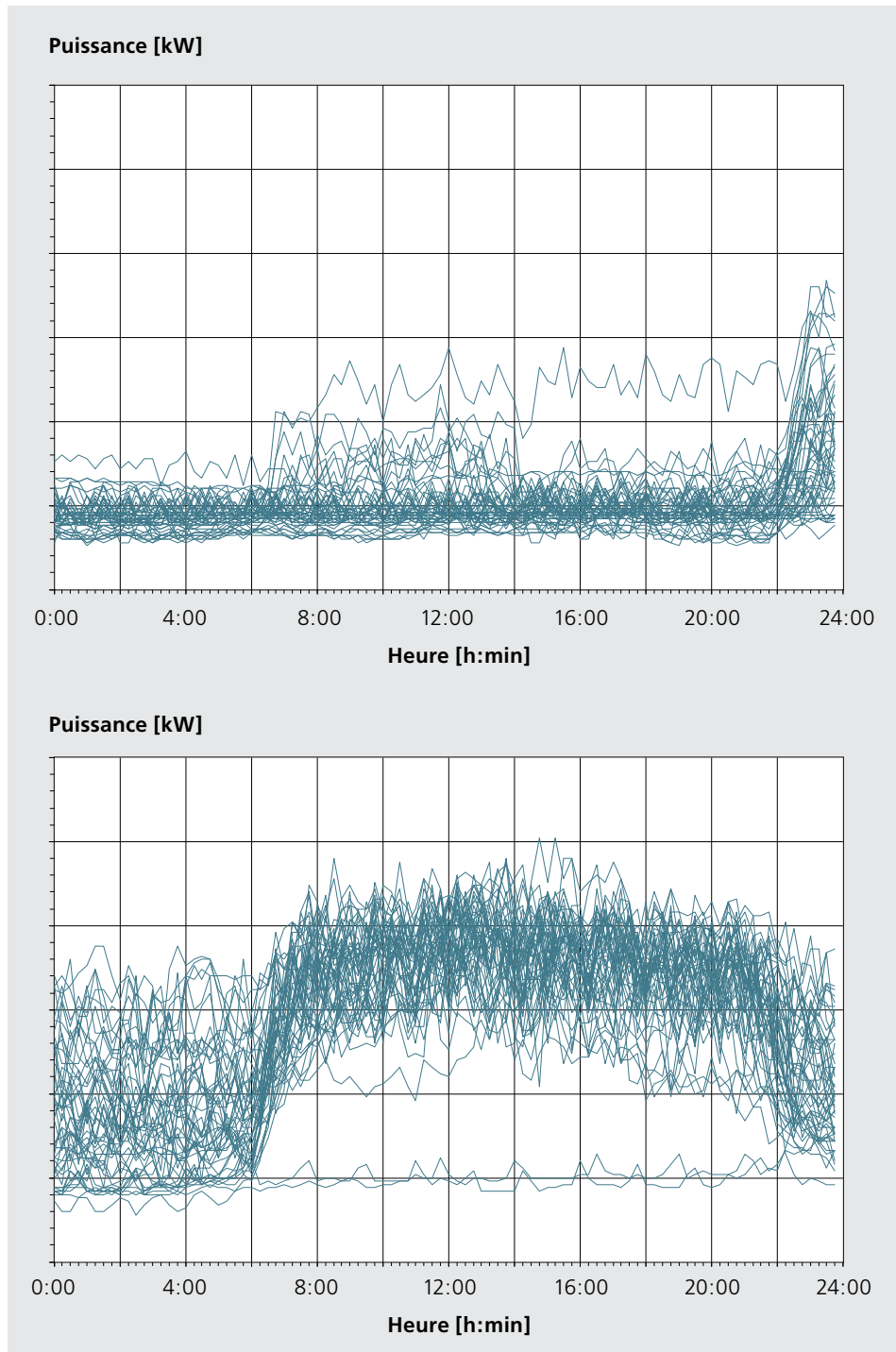
Pour analyser les données qui pourraient dépendre de la température extérieure, il est conseillé de superposer les valeurs quotidiennes ou hebdomadaires à la température de l'air extérieur. L'illustration 4.2 montre trois exemples: l'axe vertical correspond à la consommation d'énergie journalière. Le premier exemple montre une forte dépendance à la température extérieure et suggère que la consommation pour le chauffage prédomine. Pour l'exemple du milieu: les jours ouvrables ne montrent aucune dépendance aux températures extérieures et les week-ends une légère dépendance seulement. Par conséquent, ce sont les installations de production qui déterminent dans ce cas la consommation d'énergie. Quant à l'exemple du bas, il met en évidence une nette dépendance aux températures extérieures seulement lorsqu'elles sont assez élevées. Comme dans le cas précédent, la consommation est principalement due aux installations de production, celle des installations de froid s'ajoute lors des températures extérieures plus élevées.

#### Identification des installations

Lors d'une O&E, il est souvent utile d'identifier l'installation présentant la consommation d'énergie la plus élevée. C'est en général le meilleur moyen de réduire les besoins sans altérer le confort. L'installation la plus énergivore peut être identifiée de différentes manières, par exemple:

- Au moyen de la liste des installations (voir chapitre 4.2) (puissance importante et longue durée de fonctionnement)

- Lors de la visite en relevant les horaires de fonctionnement
- Par des entretiens avec les exploitants
- Par l'analyse des compteurs d'énergie intégrés



*Illustration 4.1: Superposition de profils journaliers de consommation électrique d'une entreprise. En haut: les dimanches, en bas: les lundis.*

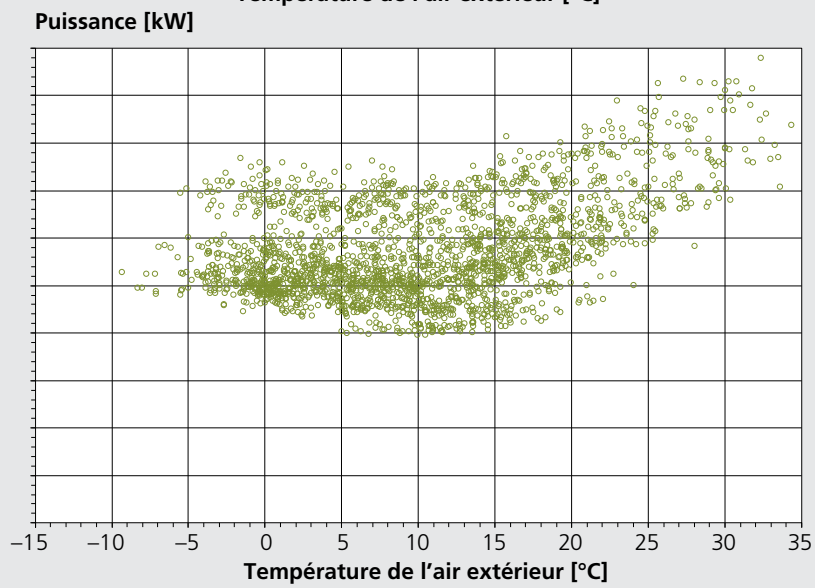
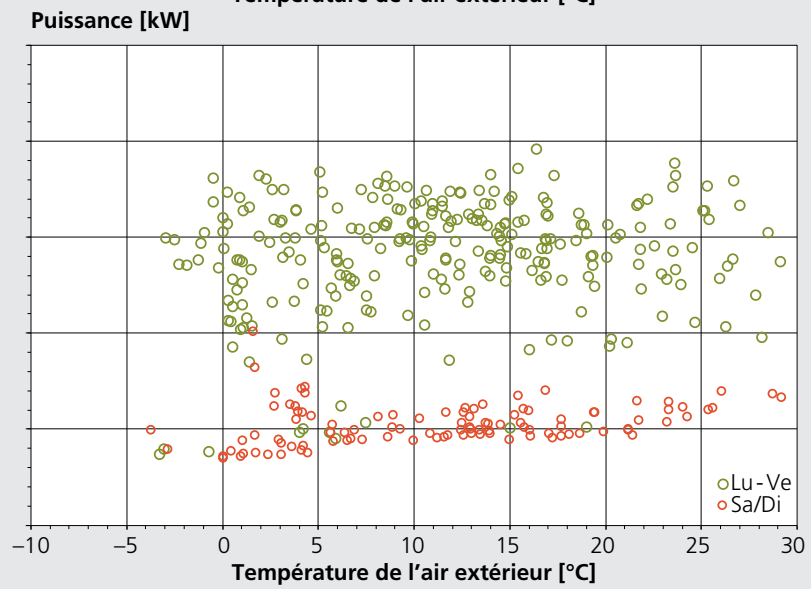
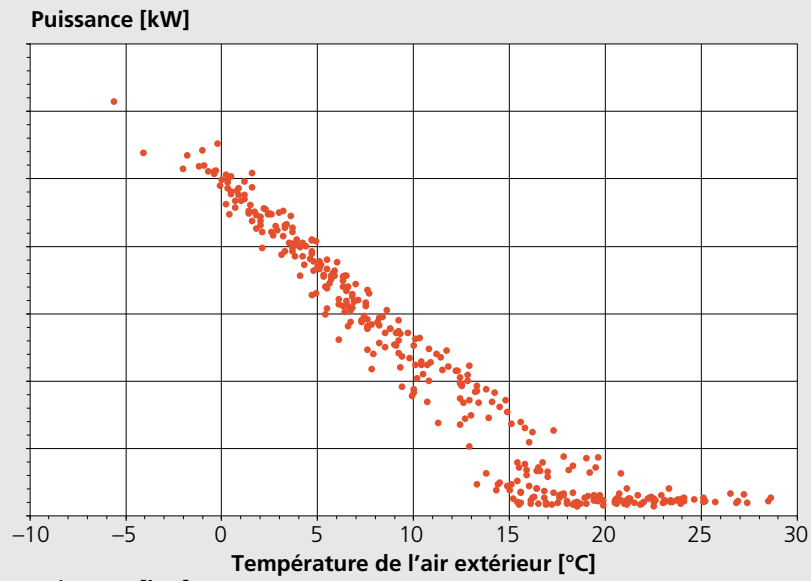


Illustration 4.2:  
La comparaison graphique de paramètres tels que la puissance et la température extérieure est un moyen d'analyse des processus dépendants de la température.

#### 4.4 Déterminer et utiliser des indices

Chaque installation a une courbe caractéristique ou un indice spécifique. Ils peuvent se référer au taux de charge, à la température extérieure ou au volume de production. Les valeurs de consigne promises ou convenues à l'installation sont une chose, les valeurs effectives réellement atteintes en sont une autre.

Après analyse des données obtenues, l'optimisation proprement dite commence. Les approches suivantes sont les plus pertinentes, ceci dans l'ordre indiqué [2]:

- Remettre en question les besoins et exigences.
- Exploiter les systèmes en fonction des besoins et de la présence en corrélant les horaires et les modes de fonctionnement.
- Exploiter les installations et systèmes au point de fonctionnement optimal sur le plan énergétique.
- Coordonner l'interaction des différentes installations, respectivement contrôler leurs fonctionnements, par exemple les séquences de réglage RC, chauffage, refroidissement, air recyclé, air extérieur.

##### Remettre en question les besoins et exigences

À travers la remise en question des besoins et exigences, les questions suivantes devraient trouver une réponse:

- L'utilisation ou l'exigence actuelle nécessite-t-elle bien le recours à une installation technique? Les exigences correspondent-elles toujours à l'utilisation actuelle?
- Les valeurs de consigne exigées correspondent-elles aux normes ou exigences en vigueur?

Il est possible que les normes n'englobent pas tous les domaines touchés par les dispositifs de mesure. En particulier pour les installations de production et leurs groupes auxiliaires, il est judicieux de clarifier les exigences avec l'exploitant, par exemple pour l'humidité minimale et maximale de l'air ambiant ainsi que pour les températures de l'air ambiant.

#### Exploiter les systèmes en fonction des besoins

En ce qui concerne l'exploitation en fonction des besoins, les questions suivantes devraient trouver des réponses:

- Les installations fonctionnent-elles uniquement lorsqu'elles sont utiles?
- Sont-elles exploitées en fonction des besoins du point de vue des horaires et modes de fonctionnement?
- L'exploitation en fonction des besoins est-elle assurée par des fonctions d'automatisme?

La plus grande économie d'énergie est réalisée en arrêtant (automatiquement) les installations lorsqu'elles sont inutiles. Cette situation peut se produire:

- En absence de toute personne.
- Si les installations de production en aval ne sont pas en fonction.
- Si le système de contrôle signale «aucun besoin».

S'il est impossible d'arrêter l'installation complètement, elle doit au moins être mise dans un état permettant une consommation d'énergie minimale.

Les procédures marche/arrêt commandées automatiquement (en fonction des besoins) permettent d'obtenir les meilleurs résultats. Si des interventions manuelles sont nécessaires, par exemple lors de brèves présences les jours fériés, il faut s'assurer que l'automatisme reprenne effet après un certain laps de temps et que les interventions soient enregistrées.

## 4.5 Élaborer et hiérarchiser les mesures

**Matthias Balmer**

Les flux d'énergie et indices identifiés permettent de déduire les potentiels d'optimisation pour des mesures techniques ou organisationnelles spécifiques. Afin de pondérer et de hiérarchiser ces mesures, elles sont confrontées aux critères suivants:

- Influence sur la consommation totale d'énergie
- Évaluation des agents énergétiques par rapport à leur potentiel de réduire la consommation d'énergie primaire et les émissions de CO<sub>2</sub>
- Rapport coût-bénéfice
- Durée d'amortissement (payback) par mesure

Une présentation claire résumant tous ces aspects facilite la hiérarchisation des mesures selon les objectifs de l'O&E. À titre d'exemple, le tableau 4.3 résume un ensemble de critères pour l'évaluation de mesures d'optimisation.

Outre l'estimation des bénéfices énergétiques et des coûts, il faut identifier les conséquences ou risques éventuels par rapport à l'utilisation ou la production et en discuter avec le mandant. Sur cette base, le mandant peut ensuite décider si une mesure est à réaliser ou non. Les mesures souhaitables sont celles avec des durées d'amortissement du capital aussi courtes que possible et celles réalisables sans planification.

**Tableau 4.3:**  
*Exemple d'un résumé de mesures d'optimisation énergétiques, avec estimations du potentiel, comme base pour une priorisation selon les objectifs définis.*

Corps de métier, composant de l'installation	Consommation d'énergie finale, année de référence				Consommation d'énergie primaire non renouvelable, année de référence		Émissions de CO <sub>2</sub> , année de référence		Potentiel	Mesure
	Électricité en kWh	Chaleur en kWh	Eau en m <sup>3</sup>	Part à la consommation totale en %	En kWh	Part à la consommation totale en %	Équivalent CO <sub>2</sub> en t	Part aux émissions totales en %		
<b>Ventilation</b>	<b>21 000</b>	<b>59 000</b>			<b>102 100</b>	<b>14,6</b>	<b>4,1</b>	<b>8,3</b>		
Régulation débit local témoin	21 000			4,1	52 700	7,5	2,1	4,3	x	x
RC témoin (aérochauffeur)		47 000		24,3	39 400	5,6	1,6	3,2	x	x
Humidification témoin (aérotherme)		12 000	220	6,2/2,1	10 000	1,5	0,4	0,8	x	x

L'évaluation des mesures à mettre en œuvre se base sur les objectifs pondérés d'une O&E et préalablement convenus avec le mandant. Les critères d'évaluation pour une mise en œuvre ciblée des mesures sont:

- a) Augmentation de la rentabilité grâce à la réduction des coûts d'exploitation
- b) Réduction de la consommation d'énergie finale
- c) Respect des exigences issues des normes ou des labels
- d) Réduction de la consommation d'énergie primaire et des émissions de CO<sub>2</sub>

### a) Évaluation des mesures en fonction de la rentabilité

La rentabilité est vérifiée séparément pour chaque mesure et considérée dans le cadre global ce qui permet de déterminer les mesures avantageuses à réaliser. Cette démarche fournit les critères nécessaires pour décider quelles mesures peuvent être mises en œuvre de manière économique. La durée d'amortissement du capital est un critère de décision facile à déterminer. En règle générale, elle devrait être très courte. Pour une O&E continue ou réalisée sur une période importante avec plusieurs mesures, les mandants professionnels en particulier demandent souvent une analyse coûts-bénéfices plus détaillée. Afin de calculer les économies par installation, les économies des mesures individuelles sont déterminées sur la durée de vie résiduelle estimée de l'installation, puis rapportées à



**Définition des types d'énergie**

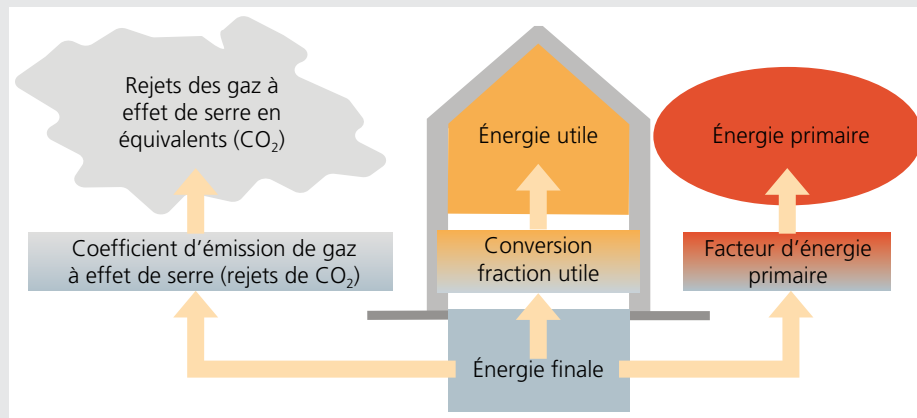
Évaluer ou comparer des quantités d'énergie implique d'être au clair sur les types d'énergie en jeu. Il peut s'agir des types d'énergie suivants: énergie utile, énergie finale et énergie primaire. Dans ce livre, l'énergie utilisée dans les bâtiments est déclarée comme énergie finale, sauf indication contraire.

L'énergie utile est l'énergie directement à disposition dans le local ou au droit de l'appareil – par exemple pour le chauffage ou l'éclairage de la pièce.

L'énergie finale est l'énergie fournie au bâtiment. Elle est calculée en additionnant l'énergie utile et les déperditions générées par la transformation de l'énergie qui a lieu à l'intérieur du bâtiment – par exemple la transformation d'une certaine quantité de bois de chauffage entreposée dans le bâtiment.

L'énergie primaire est le terme utilisé pour les ressources énergétiques à leur emplacement d'origine, sans extraction, conversion et transport – par exemple, le gaz dans le terrain.

Afin que les différentes formes d'énergie, par exemple la chaleur ou l'énergie électrique, puissent être évaluées et comparées entre elles, elles sont converties au moyen de facteurs d'énergie primaire. Ces facteurs d'énergie primaire prennent en compte la consommation effective de ressources pour la production des différentes formes d'énergie, ceci à partir de l'énergie primaire non renouvelable, telle que le gaz naturel ou l'huile minérale. Afin d'évaluer l'impact sur le climat, les énergies finales sont converties en équivalents CO<sub>2</sub> à l'aide d'un coefficient d'émission de gaz à effet de serre.



Relation et conversion entre différents types d'énergie.

Description	Rentabilité						Hiérarchisation			
	Coûts O&E en Fr.	Bénéfice O&E en Fr./an	Amortissement (payback) en a	Durée de vie probable de l'installation en a	Réduction des coûts d'exploitation prévue y compris rémunération du capital en Fr.	A court terme	A moyen terme	A long terme	Jamais	
Régulation du CO <sub>2</sub> de 900 ppm à 1100 ppm	200	500	0,4	12	5916		x			
Adapter le régime variable	600	120	5,0	12	809				x	
Les utilisateurs n'ouvrent pas les fenêtres pendant la période de chauffage	0	230	0	12	2815	x				

la durée planifiée de l'OéE. Si ces coûts, y compris la rémunération du capital, sont des montants en francs, les mandants sont plus à même d'évaluer le bénéfice effectif des mesures. Au lieu d'indiquer les économies sous forme de montant absolu, elles peuvent également être présentées comme intérêts des coûts d'investissement de mise en œuvre des mesures. C'est la meilleure façon de transmettre au mandant qu'une OéE peut être rentable. De plus amples informations à ce sujet sont disponibles au chapitre 4.9.

**b) Évaluation des mesures en fonction de la réduction de la consommation d'énergie finale**

L'influence des mesures individuelles sur l'optimisation énergétique de l'exploitation dans son ensemble peut être représentée en rapportant la consommation d'énergie actuelle (année de référence) à

la consommation totale par type d'énergie comme indiquée au tableau 4.3. Afin d'obtenir un effet important avec un investissement modeste, il est judicieux de prioriser les mesures qui ont un impact important sur la consommation totale d'énergie (illustration 4.3).

**c) Évaluation des mesures en fonction des normes et labels**

Les labels tels que Minergie ou encore des normes et standards énergétiques sont une base de planification et réalisation pour de nombreux bâtiments. Ils reposent sur des profils d'utilisation standard, qui ne répondent qu'en partie aux exigences d'une exploitation effective – que ce soit intentionnel ou non. Il en résulte très souvent que la consommation d'énergie prévue initialement est nettement plus élevée lors de l'exploitation. Ces écarts sont souvent dus à des températures am-

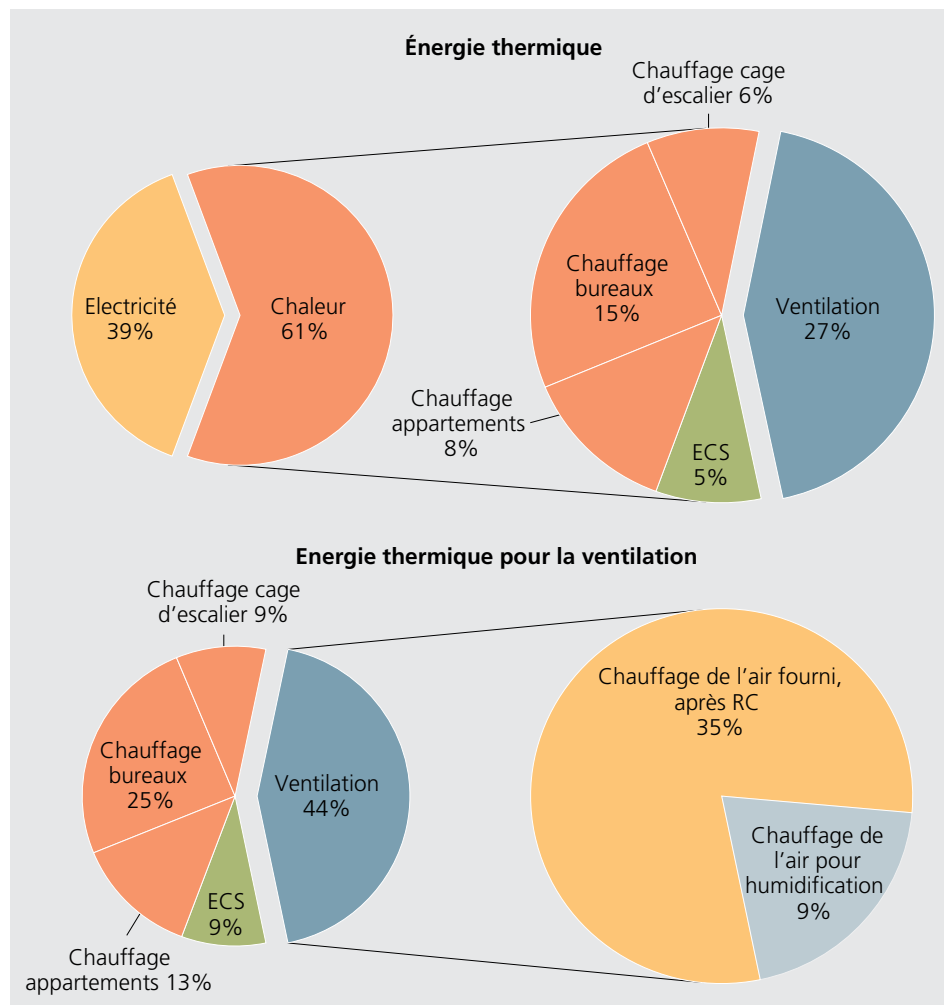


Illustration 4.3: Exemple illustrant le rapport entre les consommations d'énergie pour certaines utilisations et la consommation totale d'énergie par domaine. ECS = eau chaude sanitaire

biantes que les utilisateurs règlent autrement que supposées lors de la planification.

L'objectif possible d'une OéE est dès lors d'expliquer pourquoi les valeurs de planification et d'exploitation diffèrent ou convergent. Pour cette évaluation, il faut convertir les consommations réelles en indices de dépense d'énergie (chapitre 4.4) pour les comparer ensuite à l'un des labels ou normes suivants:

- SIA 380/1 L'énergie thermique dans le bâtiment
- SIA 380/4 L'énergie électrique dans le bâtiment
- SIA 385/2 Installations d'eau chaude sanitaire dans les bâtiments – Besoins en eau chaude, exigences globales et dimensionnement
- Cahier technique SIA 2024 Données d'utilisation des locaux pour l'énergie et les installations du bâtiment
- Minergie

La norme **SIA 380/1** fournit des indices de dépense d'énergie pour douze catégories de bâtiments caractérisées par différentes affectations et systèmes de production de chaleur. Ces indices se rapportent à un mètre carré de surface de référence énergétique (SRE). Ils englobent les consommations d'énergie thermique pour le chauffage et pour la production de l'eau chaude sanitaire.

Contrairement à la SIA 380/1, les indices de dépense d'énergie de la norme **SIA 380/4** ne se rapportent pas à l'ensemble du bâtiment. Ce sont les zones d'utilisation ainsi que les équipements et les installations techniques qui constituent la grandeur de référence d'un bâtiment. La somme des indices partiels de dépense d'énergie donne l'indice de dépense d'énergie du bâtiment.

Quant à la consommation d'eau, la norme **SIA 385/2** peut fournir des valeurs de comparaison. Cependant, elle ne fournit que des valeurs pour l'eau chaude, valeurs spécifiques en fonction des occupations ou des affectations.

Tout comme la norme SIA 380/4, le cahier technique **SIA 2024** englobe des indices de dépense d'énergie spécifiques pour différentes zones d'utilisation. Cependant, il s'agit de valeurs indicatives et non pas de valeurs normées. Elles ont été déterminées à partir de la consommation de bâtiments existants, principalement du canton de Zurich, et tiennent compte de plusieurs corps de métier et équipements. Attention: les besoins de chaleur indiqués ne comportent pas les besoins d'énergie pour les installations de ventilation. Ceux-ci manquent dans le cahier technique SIA 2024.

La prudence est de mise lors de la comparaison de valeurs de consommation effectives et les différents types de **label Minergie**. Étant donné que ce label est régulièrement adapté à l'état actuel de la technique, il faut préciser quelle version a été utilisée pour la comparaison. Toutefois, une comparaison avec des valeurs issues de labels n'est pas forcément judicieuse pour les bâtiments anciens. Il est plus pertinent dans ce cas de comparer les données de l'année d'exploitation en cours avec des anciennes données de consommation du même bien immobilier. Une augmentation inexplicable de la consommation d'énergie indique qu'il existe un potentiel pour une OéE. Dans le cas de tout un parc de biens immobiliers de même affectation, la comparaison des valeurs de consommation spécifiques au sein du parc est également utile.

Étant donné que les normes, cahiers techniques et labels cités sont périodiquement adaptés en fonction de l'état de la technique, les économies potentielles déterminées changent également. Il faut préciser que les outils permettent de comparer l'énergie finale, mais ne fournissent pas d'informations sur la consommation exprimée en énergie primaire. Pour cela, il faudrait convertir les consommations en énergie primaire et, pour évaluer l'impact sur le climat, en émissions de gaz à effet de serre. C'est le seul moyen pour indiquer la réduction des besoins en ressources et des émissions de gaz à effet de serre dans le cadre d'une OéE.

**d) Évaluation des mesures en fonction de la réduction de l'énergie primaire et des émissions de gaz à effet de serre**

Il existe différents outils pour rendre visibles les réductions de consommation d'énergie primaire et des émissions de CO<sub>2</sub>:

- Cahier technique SIA 2040 La voie SIA vers l'efficacité énergétique (société à 2000 watts)
- Campagne «Display»
- Diagrammes Non-Sustainable-Exergy
- Comparaison avec des moyens de transport

Pour la comparaison avec les exigences de la société à 2000 watts en matière d'ex-

ploitation, il est possible de recourir au cahier technique SIA 2040 La voie SIA vers l'efficacité énergétique. Il contient les besoins en énergie pour la chaleur, la ventilation-climatisation, l'éclairage et les équipements. Après avoir converti en énergie primaire non renouvelable les besoins relevés pendant l'année de référence (tableau 4.3), ces indices de consommation spécifiques annuels peuvent être comparés aux valeurs indicatives des différentes catégories de bâtiments répondant aux critères de la société à 2000 watts. Il est possible d'évaluer les mesures prévues par cette méthode, valable aussi pour les émissions de gaz à effet de serre.

Illustration 4.4: Diagramme de rénovation avec voie vers l'efficacité énergétique planifiée et mesurée, rapportée à l'énergie primaire non renouvelable et aux émissions de gaz à effet de serre. Facteurs d'énergie primaire et coefficients de gaz à effet de serre pour le mazout EL et le mix électrique suisse selon la KBOB.

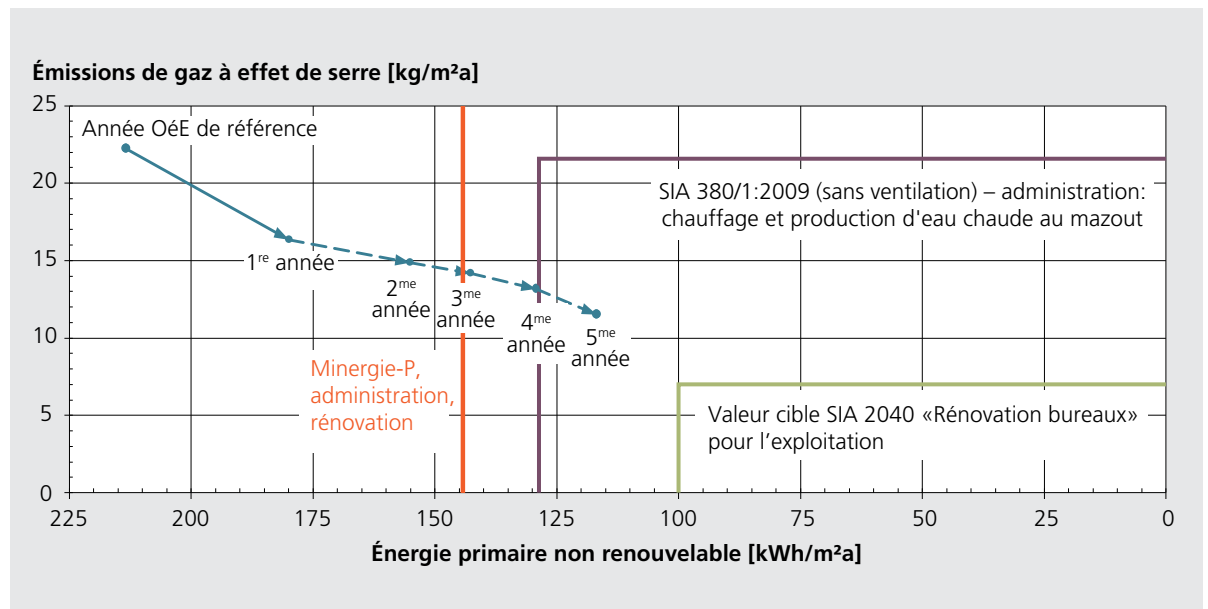
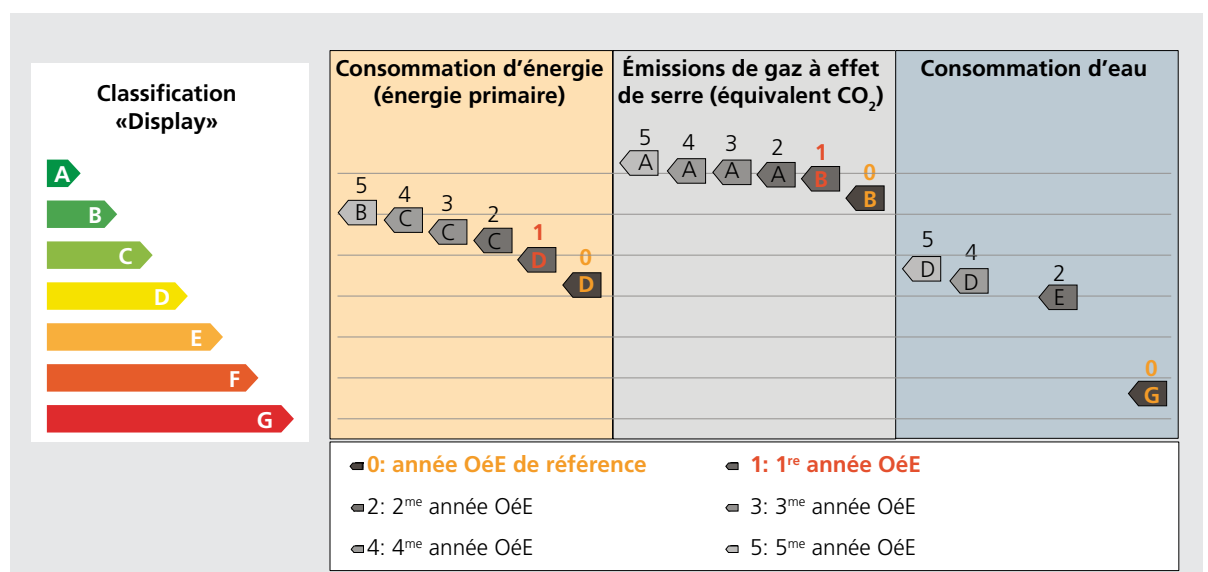


Illustration 4.5: Impacts d'une OéE sur la classification des bâtiments selon la campagne «Display».



Si les mesures OéE sont représentées sous forme d'un diagramme de rénovation selon le cahier technique SIA 2047, il est possible de montrer l'évolution future du bâtiment par rapport à la voie SIA vers l'efficacité énergétique (illustration 4.4). Le diagramme peut être mis à jour annuellement avec les consommations d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre mesurées pour contrôler le résultat.

La campagne «Display» est une campagne à l'échelle européenne pour classer les bâtiments publics et privés en fonction de leur affectation. La consommation annuelle d'énergie primaire et d'eau ainsi que les émissions de gaz à effet de serre

sont prises en compte (tableau 4.5). La classification des bâtiments s'étend de la classe A (très efficace) à la classe G (très inefficace).

Le diagramme NSE (Non-Sustainable Exergy) montre l'impact environnemental de différentes valeurs de dépense énergétique. Exprimé de manière simplifiée, le terme exergie désigne les agents d'énergie primaire qui peuvent être utilisés thermodynamiquement pour effectuer un «travail». Les formes d'énergie primaire telles que mazout, gaz, chauffage à distance, bois ou électricité en font partie, au contraire de la chaleur ambiante. Pour le diagramme NSE, l'exergie est définie

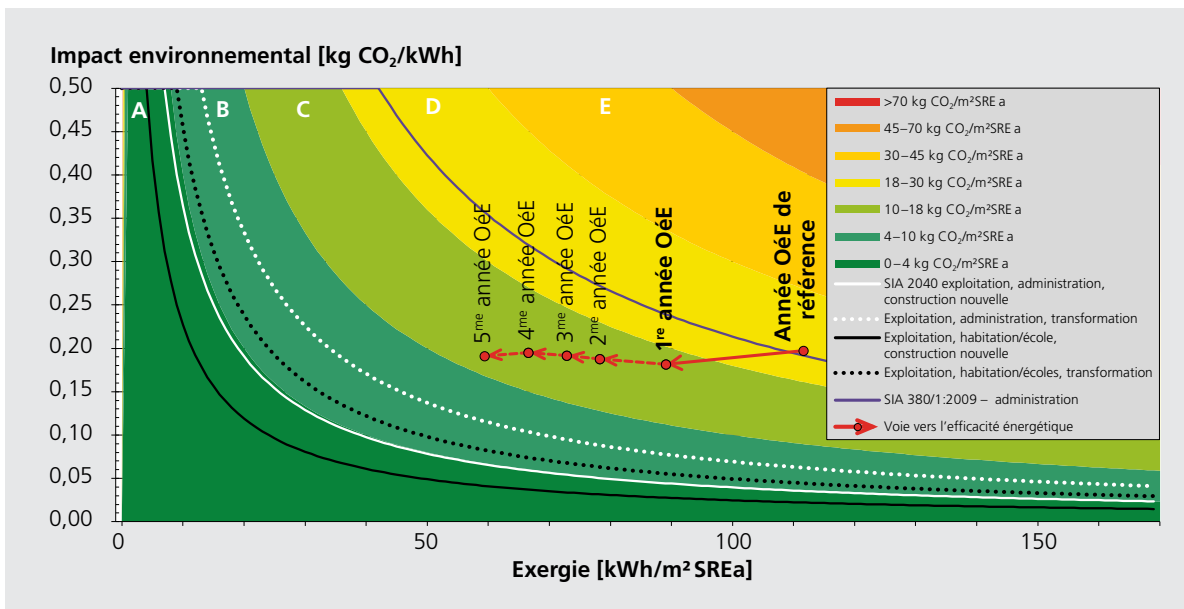


Illustration 4.6: Diagramme NSE avec valeurs limites et cibles selon les normes SIA. Facteurs d'énergie primaire et coefficients de gaz à effet de serre pour le mazout EL et le mix électrique suisse selon la KBOB.

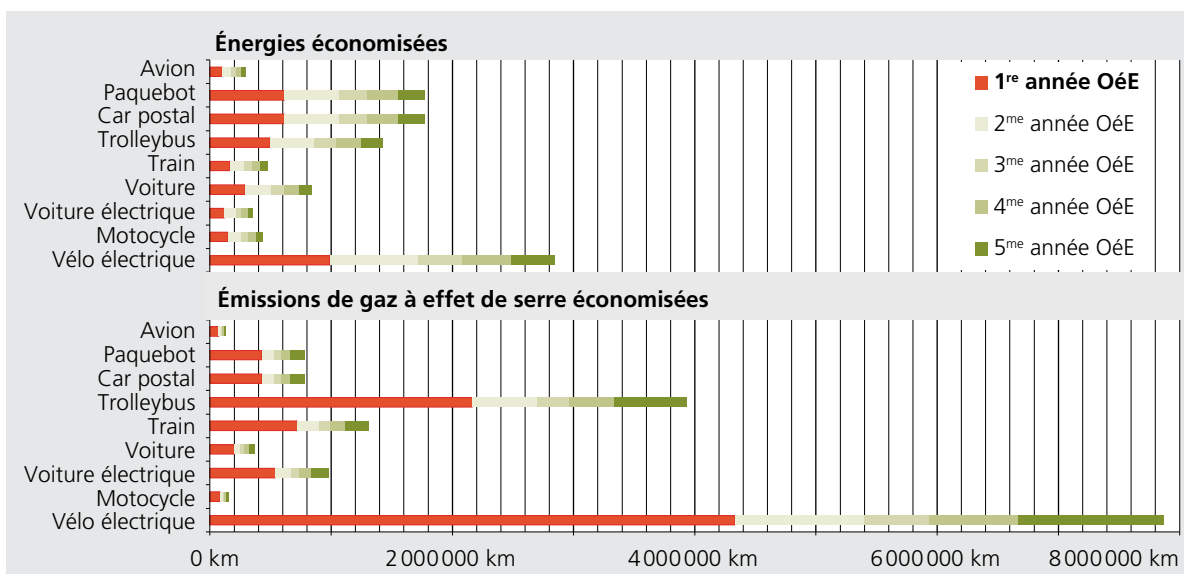


Illustration 4.7: Énergie primaire et émissions de gaz à effet de serre économisées rapportées à des kilomètres parcourus. Facteurs d'énergie primaire et coefficients de gaz à effet de serre pour le mazout EL et le mix électrique suisse selon la KBOB.

comme énergie finale sans chaleur ambiante. Le diagramme peut être complété avec les valeurs limites ou valeurs cibles du cahier technique SIA 2040 ou encore de la norme SIA 380/1. Afin de visualiser le bénéfice d'une OéE pour les non-spécialistes, la quantité d'énergie économisée peut être convertie en kilomètres parcourus par différents moyens de transport. Les émissions de gaz à effet de serre ou la consommation d'énergie primaire servent de valeur de référence (illustration 4.7).

### Priorisation des mesures

En principe, c'est le mandant qui définit les objectifs à atteindre par une OéE. Le spécialiste OéE détermine les objectifs qui sont atteignables et à quel degré. Il les visualise ensuite à l'aide des outils évoqués plus haut. À ce stade, il est utile d'avoir en tête les raisons pour lesquelles le client a sollicité une OéE. Voici quelques raisons possibles:

- Remplir les exigences légales ou le MoPEC.

- Se libérer de la taxe sur le CO<sub>2</sub>, par exemple à travers une convention d'objectifs universelle.
- Baisser les coûts d'exploitation.
- Améliorer l'image du client.
- Revaloriser son bien immobilier pour concrétiser un avantage sur le marché.

Les critères d'évaluation pour une priorisation ciblée des mesures sont énumérés dans le tableau 4.4.

**Tableau 4.4:**  
*Critères d'évaluation pour prioriser des mesures. Les lettres précédant les critères d'évaluation se réfèrent aux paragraphes dans le texte et expliquent les critères en question.*

Priorisation	Critères d'évaluation des mesures OéE	Commentaires
Conformité aux exigences légales	b) Réduire la consommation d'énergie c) Atteindre des normes ou labels d) Réduire la consommation d'énergie primaire et les émissions de CO <sub>2</sub>	Les exigences légales sont adaptées périodiquement dans le cadre de la stratégie énergétique 2050 de la Confédération. En fonction des dispositions légales, un ou plusieurs des trois critères d'évaluation énumérés sont déterminants. Au niveau politique, la tendance est de remplacer des mesures de subvention par des mesures d'incitation.
Exonération de la taxe sur le CO <sub>2</sub>	d) Réduire la consommation d'énergie primaire et les émissions de CO <sub>2</sub>	Cette exonération par l'Office fédéral de l'environnement est possible pour les entreprises avec des émissions de gaz à effet de serre élevées.
Réduction des coûts d'exploitation	a) Augmenter la rentabilité à travers la réduction des coûts d'exploitation b) Réduire la consommation d'énergie c) Atteindre des normes ou labels d) Réduire la consommation d'énergie primaire et les émissions de CO <sub>2</sub>	Une réduction des coûts d'exploitation peut être obtenue avec chacune des stratégies d'évaluation proposées, car chaque réduction de la consommation d'énergie réduit les frais énergétiques courants.
Amélioration de l'image vs altération de l'image	b) Réduire la consommation d'énergie c) Atteindre des normes ou labels d) Réduire la consommation d'énergie primaire et les émissions de CO <sub>2</sub>	Les mesures qui représentent aujourd'hui une amélioration de l'image peuvent correspondre demain déjà à l'état actuel de la technique et après-demain à une détérioration de l'image. À ce moment-là au plus tard, l'heure de la prochaine OéE sera venue.
Avantage sur le plan commercial	a) Augmenter la rentabilité à travers la réduction des coûts d'exploitation b) Réduire la consommation d'énergie c) Atteindre des normes ou labels d) Réduire la consommation d'énergie primaire et les émissions de CO <sub>2</sub>	La valeur d'un bien immobilier profite de charges basses (location facilitée en raison des bas coûts énergétiques), du respect des normes sur l'énergie (valeur immobilière plus élevée), de certifications selon des labels (valeur immobilière plus élevée) et d'une exploitation préservant les ressources (location facilitée).

## 4.6 Réaliser des mesures

Le principe de Pareto s'applique pour la réalisation des mesures, à savoir, réaliser si possible 80 % des économies avec 20 % des mesures tout en tenant compte que les potentiels d'économie du catalogue de mesures sont relatifs. Les économies réalisables dans la pratique dépendent toujours de l'exploitation effective, du fonctionnement et des installations techniques existantes.

Le calendrier de réalisation des mesures prend en compte les saisons et les périodes d'exploitation. Les mesures touchant une installation de chauffage, par exemple, sont de préférence à réaliser en été. De cette manière, les économies peuvent être analysées sur l'entier de la période de chauffage. S'il s'agit d'optimiser une installation d'air comprimé d'un site de production, il est judicieux d'intervenir en dehors des périodes de production, par exemple pendant les vacances d'entreprise.

Pour que les mesures d'optimisation soient acceptées par les utilisateurs et appréciées par l'exploitant, il faut comprendre leur réalisation comme un travail d'équipe incluant tous les acteurs. C'est le seul moyen pour qu'une OéE puisse être efficace sur le long terme et que les changements d'attitude soient effectivement adoptés. Les acteurs suivants doivent bien collaborer pour une mise en œuvre réussie des mesures:

- Propriétaire du bâtiment
- Utilisateurs du bâtiment
- Exploitant du bâtiment
- Spécialiste OéE

Le spécialiste OéE dirige et coordonne la réalisation des mesures. Il agit pour ainsi dire comme un régisseur qui réunit toutes les parties prenantes. Il assume en outre la responsabilité technique et s'assure que les objectifs fixés sont atteints.

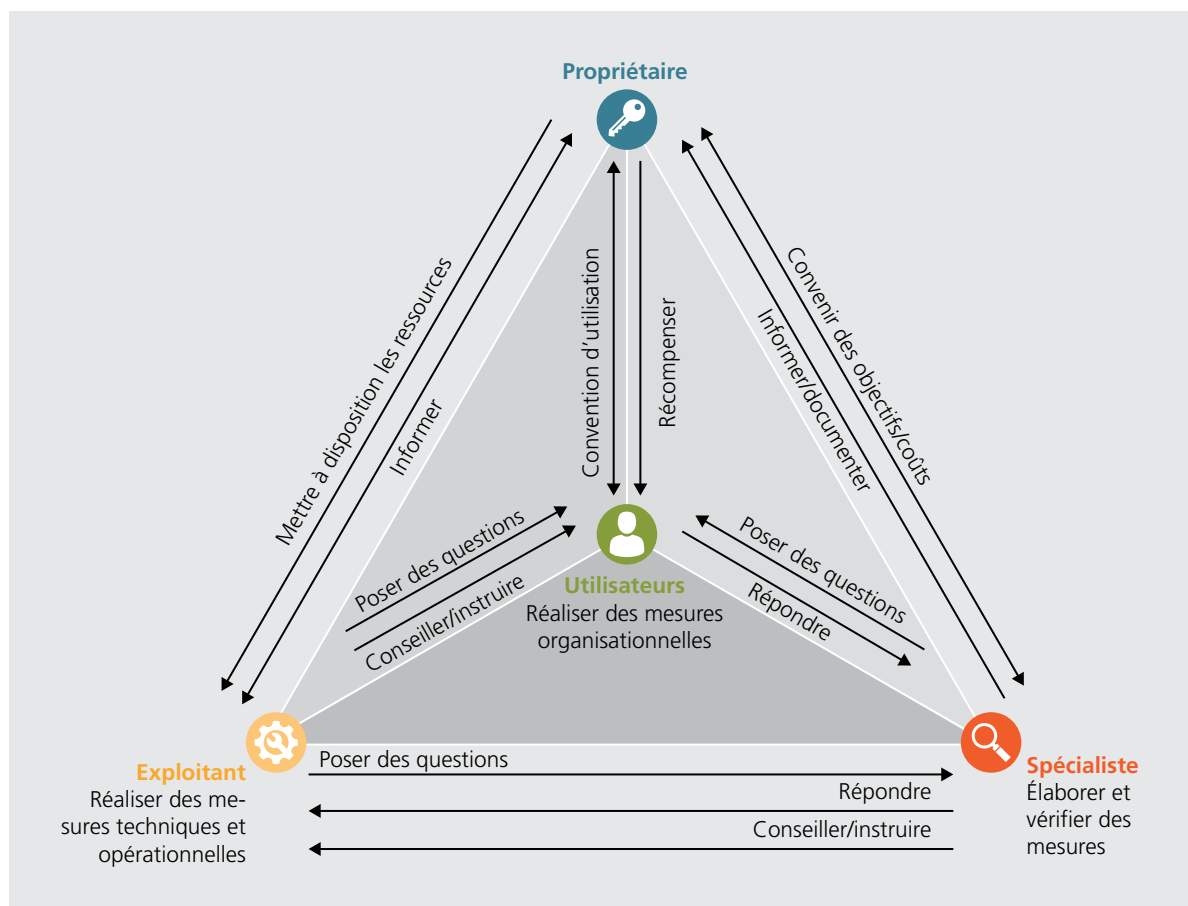


Illustration 4.8: Schéma d'interaction entre acteurs comme modèle pour la réalisation des mesures OéE.

### Coopération entre le mandant et le spécialiste OéE

La réalisation des mesures se base sur la convention d'objectifs établie entre le mandant et le spécialiste OéE (illustration 4.9), laquelle définit la réduction d'énergie et les coûts. Elle repose sur la stratégie du propriétaire et sur les mesures possibles et raisonnables, ainsi que leur coût. Cette convention est établie par contrat.

La présentation annuelle par l'expert OéE d'un rapport sur les travaux réalisés fait aussi partie de la mise en œuvre et comprend les réductions d'ores et déjà réalisées. Ce rapport permet parallèlement de vérifier et d'adapter, le cas échéant, la convention d'objectifs. De cette manière, le mandant est toujours informé de l'état actuel et il est en mesure de budgéter ou approuver les coûts pour une mise en œuvre ultérieure.

### Coopération entre utilisateurs et spécialiste OéE

Avant de réaliser les mesures, le spécialiste OéE clarifie les exigences de confort des utilisateurs et il les remet en question, si nécessaire (illustration 4.10). Il prend également note des réclamations liées au confort. Le confort de l'utilisateur doit au moins être maintenu et, si possible, amélioré, c'est le principe de base pour la réalisation des mesures. En ce qui concerne les

exigences de confort, il est évident toutefois qu'il faut respecter le cadre convenu entre l'utilisateur et le propriétaire.

Les mesures organisationnelles, c'est-à-dire les mesures à mettre en œuvre par les utilisateurs, sont discutées avec eux. Il est important de sensibiliser les utilisateurs aux effets escomptés des mesures quant au confort et aux économies possibles. C'est la seule façon de les motiver à coopérer. Lorsque les utilisateurs sont prêts à appliquer les mesures, c'est au spécialiste OéE de les planifier de manière rationnelle.

Après la mise en œuvre des mesures, le spécialiste OéE se renseigne auprès des utilisateurs s'ils sont satisfaits du nouvel état. Il évalue si le rapport entre l'effort à fournir et le bénéfice qui peut être obtenu est raisonnable. Il s'informe auprès des utilisateurs si le climat intérieur s'est amélioré, détérioré ou n'a pas changé. Sur la base du sondage auprès des utilisateurs et du catalogue de mesures, le spécialiste OéE planifie ensuite en collaboration avec les utilisateurs la réalisation des mesures suivantes.

Illustration 4.9:  
Coopération entre propriétaire du bâtiment en tant que mandant et spécialiste OéE dans le schéma d'interaction lors de la réalisation des mesures.

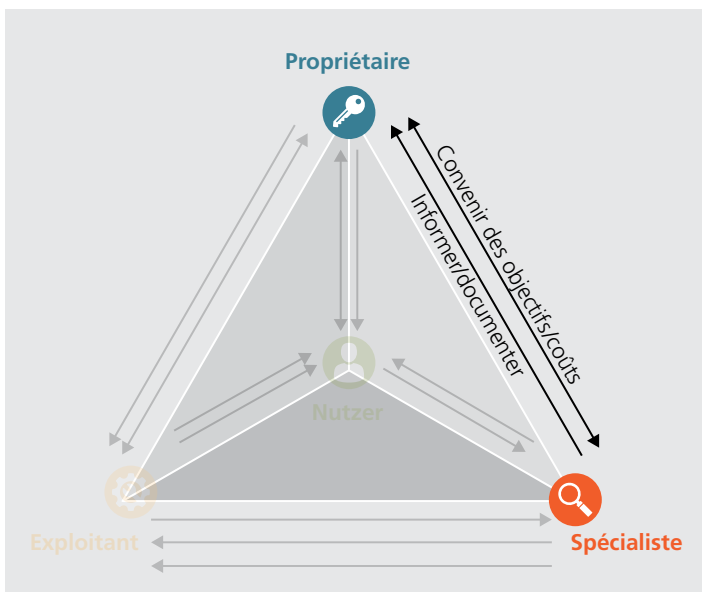
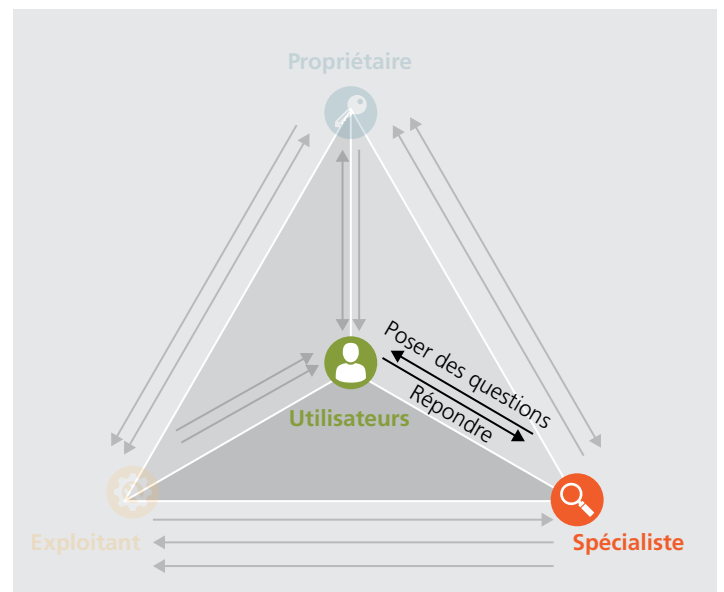


Illustration 4.10:  
Coopération entre utilisateurs et spécialiste OéE dans le schéma d'interaction lors de la réalisation des mesures.





### Coopération entre l'exploitant et le spécialiste OéE

C'est avec l'exploitant que le spécialiste OéE collabore le plus étroitement pendant la phase de réalisation (illustration 4.12). L'objectif de cette collaboration est de permettre à l'exploitant, après plusieurs années d'instruction par le spécialiste OéE, de planifier et de réaliser des mesures de manière autonome en cours d'exploitation, y compris lorsqu'il y a des changements d'exigences côté utilisateurs. Pour la réalisation des mesures, le spécialiste OéE tient compte de toutes les informations pertinentes provenant de l'exploitant. Cela comprend, par exemple:

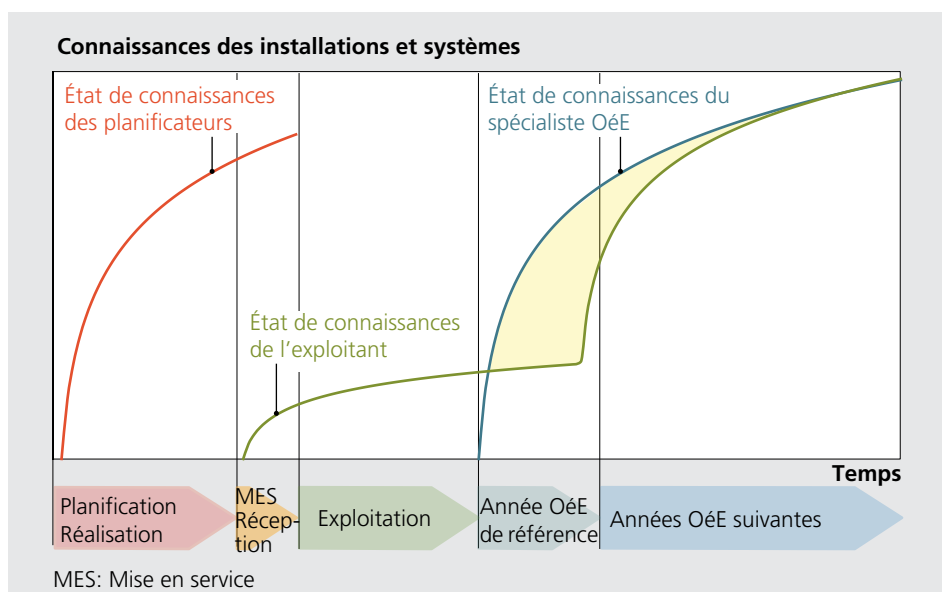
- Le comportement de l'installation
- Les défaillances de l'installation
- Les travaux de service et de réparation effectués
- Les dysfonctionnements manifestes
- Les réglages effectués modifiant les valeurs de consigne et les paramètres
- Les données d'exploitation effectives

Les outils d'aide les plus importants sont: le journal des installations, les données sur les tendances, l'accès au système de gestion, les schémas de principe, les descriptions des fonctions et les listes de valeurs de consigne. L'élimination de défauts ne fait certes pas partie de l'OéE, toutefois les responsables devraient en être informés pour les éliminer. Les défauts non

éliminés peuvent avoir un impact négatif sur une OéE.

Le spécialiste OéE clarifie et analyse les raisons du comportement effectif de l'exploitant et de l'installation. À cet effet, l'exploitant lui décrit le fonctionnement des installations et commente la documentation ainsi que la commande effective des installations, ceci à partir de son expérience. Afin de planifier des mesures adaptées à l'exploitation, le spécialiste OéE confronte les expériences de l'exploitant à sa propre connaissance des installations. Il est en outre important que le spécialiste OéE puisse suivre en direct le système de gestion du bâtiment afin de lui permettre d'observer et d'analyser les installations à tout moment.

L'instruction de l'exploitant représente une tâche primordiale pendant la réalisation des mesures. Il arrive en effet souvent qu'un exploitant prenne en charge les installations sans connaissance préalable et qu'il prenne connaissance du système uniquement au moment de la mise en service. Dans cette situation, il s'occupe en premier lieu du confort des utilisateurs et du fonctionnement des installations. La décision du propriétaire de faire effectuer une OéE est une occasion pour l'exploitant de compléter ses connaissances de l'installation grâce à l'expertise du spécialiste OéE (illustration 4.11). Il bénéficie en plus des investigations et analyses du spécialiste OéE.



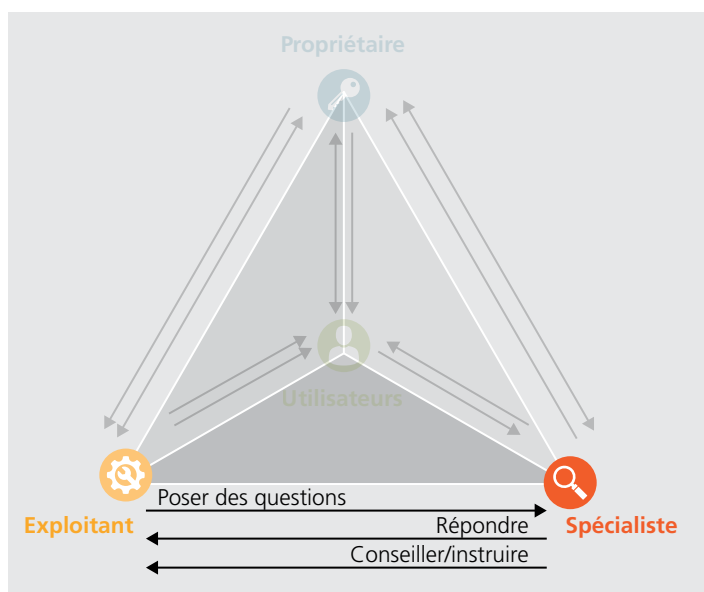
*Illustration 4.11: Dans le cadre d'une OéE, l'exploitant approfondit ses connaissances des installations et systèmes.*

Sur la base de la convention d'objectifs et des connaissances acquises sur les installations et systèmes, l'exploitant et le spécialiste OéE planifient les prochaines mesures à réaliser, tout en étant attentifs à pouvoir attribuer sans ambiguïté les changements de consommation futurs à une seule mesure. Par conséquent, les mesures doivent être mises en œuvre séparément et par installation – année après année – en fonction de leur priorisation.

Il est important que les mesures soient toujours mises en œuvre par l'exploitant. Le spécialiste OéE donne des instructions et un soutien, cependant il n'intervient jamais lui-même sans avoir informé l'exploitant et les utilisateurs. Le spécialiste OéE a donc le rôle de conseiller, compétent en raison des connaissances acquises sur le système, les installations et le fonctionnement.

Afin de pouvoir évaluer l'efficacité des mesures, elles doivent être consignées par l'exploitant, y compris la date et l'heure. Cette attribution temporelle permet aussi d'identifier les comportements des utilisateurs, les composants de l'installation et les modes de fonctionnement réellement déterminants pour une exploitation efficace. De plus, elle met en évidence l'influence de chaque mesure sur le fonctionnement réel et la consommation d'énergie.

*Illustration 4.12: Coopération entre exploitant et spécialiste OéE dans le schéma d'interaction lors de la réalisation des mesures.*

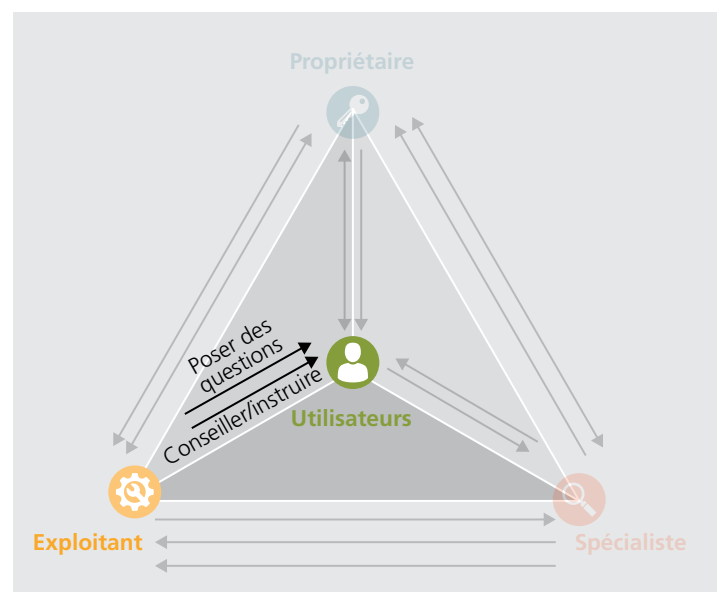


### Coopération entre l'exploitant et les utilisateurs

Les utilisateurs et leurs besoins se trouvent au centre de l'OéE (illustration 4.13). L'exploitant prend connaissance de ces besoins et en discute avec le propriétaire et le spécialiste OéE. Les utilisateurs mettent en œuvre les mesures organisationnelles prévues par l'exploitant et le spécialiste OéE. C'est toujours l'exploitant qui les instruit et les soutient. La question suivante pourrait alors se poser : pourquoi les utilisateurs ne sont pas instruits par le spécialiste OéE ? D'une part, une relation de confiance a été établie entre l'exploitant et le spécialiste OéE dans le cadre de l'OéE et il s'agit de la maintenir et la renforcer à l'avenir. D'autre part, l'exploitant est plus proche des utilisateurs et peut les accompagner vraiment en continu. Il est possible de renforcer encore davantage la crédibilité de l'exploitant si le spécialiste OéE expose au préalable les mesures aux utilisateurs.

Il est important que l'exploitant accompagne les utilisateurs avec compétence dans la réalisation des mesures organisationnelles et qu'il les rende aussi attentifs aux comportements erronés. Au début, cela demande souvent beaucoup de patience et de persévérance de la part de l'exploitant. Selon la situation, il peut être utile de documenter certaines discussions à l'aide de résultats de mesure.

*Illustration 4.13: Coopération entre exploitant et utilisateurs dans le schéma d'interaction lors de la réalisation des mesures.*

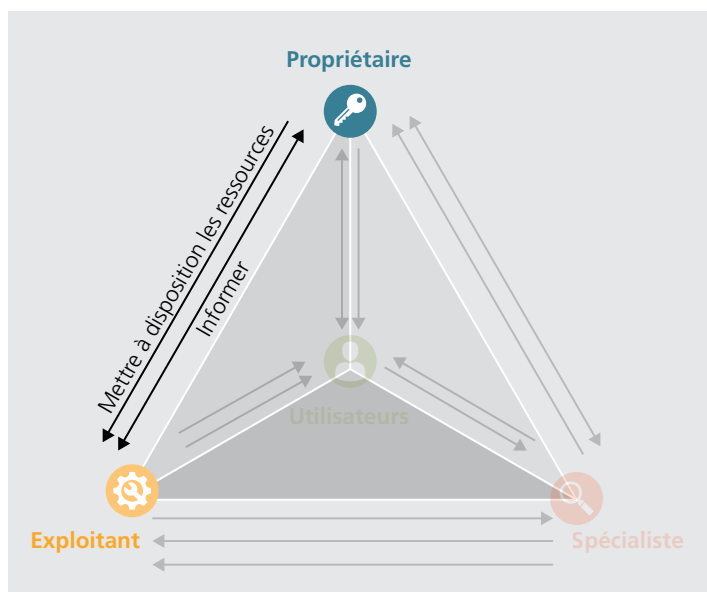


### Coopération entre l'exploitant et le propriétaire

Une OéE offre une bonne occasion de consolider et d'élargir la relation entre l'exploitant et le propriétaire. Le propriétaire informe l'exploitant des objectifs convenus et met à sa disposition les moyens et le temps nécessaires à la mise en œuvre efficace des mesures prévues (illustration 4.14). C'est seulement à la condition que l'exploitant puisse s'occuper de manière intensive de l'OéE, que les bénéfices escomptés se réaliseront de manière durable. L'exploitant, pour sa part, documente ses contributions à l'OéE et rapporte les succès et les connaissances acquises.

À travers la collaboration accrue avec les utilisateurs, l'exploitant connaît de mieux en mieux leurs besoins. Il clarifie avec le propriétaire si leurs besoins sont conformes aux conventions d'utilisation. Il s'agit d'être au clair par rapport aux points suivants, par exemple: existe-t-il une convention sur une température ambiante garantie pendant les mois d'été? Quelles conditions de climat intérieur doivent être strictement respectées selon la convention d'utilisation? Est-ce qu'une convention d'utilisation a été réellement établie? L'exploitant clarifie quelles demandes des utilisateurs peuvent ou doivent être satisfaites et lesquelles ne sont pas justifiées.

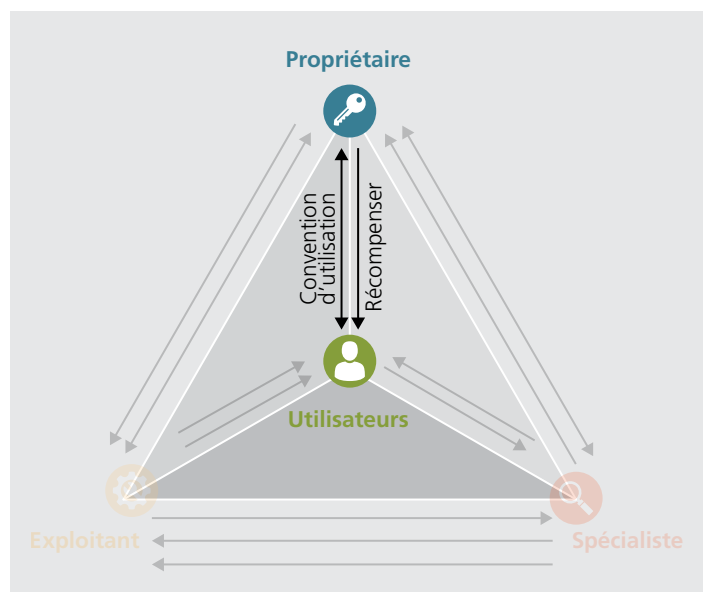
*Illustration 4.14: Coopération entre exploitant et propriétaire dans le schéma d'interaction lors de la réalisation des mesures.*



### Coopération entre le propriétaire et l'utilisateur

Une convention d'utilisation règle contractuellement les conditions de location entre l'utilisateur et le propriétaire (illustr. 4.15). Si un utilisateur fait valoir lors d'une OéE des exigences qui ne font pas partie de la convention d'utilisation, c'est au propriétaire d'intervenir. La limitation des besoins fait également partie de l'OéE. Le locataire, qui est en général aussi l'utilisateur, peut ainsi exiger le confort convenu dans le contrat de bail, mais pas davantage. À titre d'exemple, une installation de ventilation peut être arrêtée pendant le week-end, même si quelques utilisateurs travaillent. Si une modification est demandée, il faut adapter la convention d'utilisation – le cas échéant avec des conséquences financières. Le propriétaire informe l'utilisateur du succès des mesures réalisées. Les outils de communication les mieux adaptés sont les tableaux de bord qui visualisent directement les économies, par exemple sur l'intranet, et motivent les utilisateurs à continuer d'appliquer les mesures. Des récompenses liées aux économies réalisées peuvent générer une motivation encore plus grande. Indépendamment de la manière de motiver les utilisateurs, l'aspect le plus important est la communication claire des succès issus des optimisations. Sinon, les utilisateurs ne prendront plus au sérieux les mesures préconisées par l'exploitant.

*Illustration 4.15: Coopération entre propriétaire et utilisateurs dans le schéma d'interaction lors de la réalisation des mesures.*



### **Une attitude positive est indispensable**

Dans le cadre d'un projet OéE, l'optimisation des installations techniques seules ne suffit pas pour mettre en œuvre les mesures avec succès. Il faut toujours une collaboration étroite entre utilisateurs, exploitants et propriétaires. Afin d'éviter un relâchement dans le respect des mesures à suivre une fois l'optimisation terminée, une attitude positive doit s'instaurer entre les personnes impliquées dans le processus d'optimisation. Pour y parvenir, il faut absolument que tous les acteurs soient impliqués en fonction de leur rôle. C'est à cette condition que l'optimisation a de bonnes chances de succès sur le long terme – même en cas de changements d'affectation. En outre, un suivi énergétique est nécessaire pour indiquer rapidement si la consommation d'énergie augmente à nouveau. C'est le seul moyen pour pouvoir instaurer rapidement des contre-mesures appropriées (voir paragraphe 4.10).

## **4.7 Provoquer des décisions**

Dans le cadre d'une OéE, il est primordial de s'adresser au bon décideur pour obtenir des décisions hiérarchiquement valables. Le décideur est en général le propriétaire. Il arrive pourtant souvent que les optimisations soient initiées par l'exploitant ou l'utilisateur. Ceci est judicieux dans la mesure où l'exploitant a généralement les compétences techniques, opérationnelles et, dans certains cas, financières pour entretenir les installations techniques. Au niveau organisationnel et en matière d'investissements par contre, il n'est souvent pas habilité à décider. Du point de vue du propriétaire, il peut éventuellement être judicieux de lui donner les compétences nécessaires. Dans ce cas, l'exploitant a besoin d'un argumentaire approprié pour pouvoir décider. À cet effet, le spécialiste OéE peut élaborer en commun avec l'exploitant des aides à la décision. Si les décisions sont prises exclusivement par le propriétaire, le spécialiste OéE élabore des aides à la décision pour le propriétaire. Dans le but de systématiser l'opération, deux niveaux peuvent être distingués:

- La décision de principe en faveur ou contre une OéE
- Les décisions annuelles régulières pour la réalisation des mesures

### **Décision en faveur ou contre une OéE**

Si une OéE est requise par la loi, la question est réglée. C'est le cas pour tous les bâtiments, avec un besoin annuel en électricité supérieur à 200 MWh/a, à l'exclusion des bâtiments d'habitation (illustration 4.16).

Un critère de décision en faveur d'une OéE est éventuellement le respect des exigences liées à des labels spécifiques. Les labels suivants évaluent également la qualité énergétique du bâtiment pendant l'exploitation, en plus des caractéristiques établies au niveau de la planification:

- BREEAM In Use
- DGNB
- Société à 2000 watts
- Attestation Minergie SQM Exploitation

En Suisse, de nombreux bâtiments ont été construits selon des labels qui ne tiennent toutefois pas compte de l'exploitation. Ils sont souvent sujets à un écart de performance, c'est-à-dire que les valeurs énergétiques planifiées ne sont pas atteintes pendant l'exploitation. Une OéE arrive souvent à réduire cet écart de manière significative. Il est toutefois possible de comparer aussi des bâtiments non certifiés avec des labels. La décision en faveur d'une OéE réduit en priorité l'impact environnemental, ceci à travers une utilisation plus efficace des ressources énergétiques. Néanmoins, les avantages économiques sont souvent tout aussi importants. De par leur définition, les optimisations énergétiques de l'exploita-

tion sont conçues pour être financièrement rentables. D'une part, l'OéE génère des bénéfices sous forme de baisse des coûts d'exploitation des installations techniques. De l'autre, elle augmente la durée de vie et la sécurité de fonctionnement des installations parce qu'elles sont exploitées de manière efficace et dans les règles de l'art. Cela repousse les investissements pour le remplacement des installations. En outre, les installations exploitées de manière efficace sont plus performantes ce qui évite dans une certaine mesure de devoir les agrandir lorsque les exigences d'utilisation augmentent.

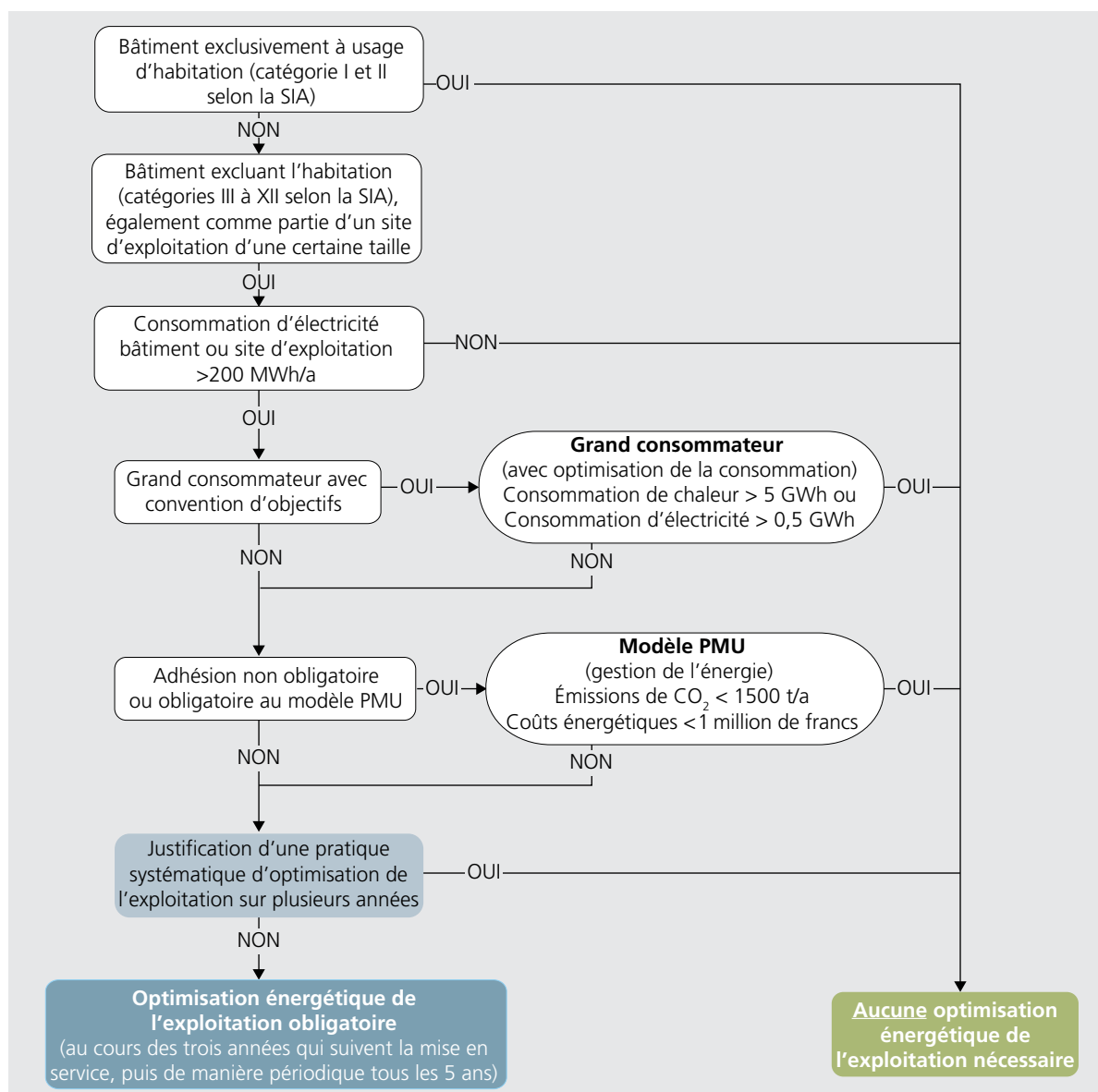


Illustration 4.16: Conditions pour une OéE exigée par la loi.

Malgré les avantages évidents, engager une OéE implique des décideurs une certaine prise de risque. Les économies prospectives reposent sur des hypothèses, des analyses et des prévisions du spécialiste OéE sur l'utilisation et la gestion de l'exploitation. Afin de permettre au décideur de trancher en faveur ou contre une OéE, le spécialiste OéE doit lui fournir les éléments suivants:

- Un objectif
- Une analyse coût-bénéfice
- Une ébauche de la procédure prévue
- Un aperçu des risques potentiels

Les objectifs d'une OéE s'orientent en fonction des préférences du décideur. Ils peuvent concerner les aspects suivants:

- Respect de certaines exigences légales
- Exonération des taxes sur le CO<sub>2</sub>
- Réduction des coûts d'exploitation
- Réduction des charges afin d'être plus attractif pour les locataires
- Recherche d'une amélioration de l'image
- Augmentation de la valeur du bien immobilier
- Obtention d'un label
- Respect des valeurs selon les normes

L'analyse coût-bénéfice se base sur les éléments suivants:

- Analyse de l'état actuel des installations
- Documentations des installations telles que schémas de principe, descriptions de fonctionnement ou documents de service
- Visite sur place avec l'exploitant
- Entretien avec l'exploitant selon des questions préparées à l'avance

Les estimations de coûts comprennent un pronostic de leur développement futur. Les potentiels d'économies sont estimés sur la base de l'analyse de l'état actuel ou d'un contrôle énergétique.

L'ampleur de la procédure spécifique est estimée en hiérarchisant les potentiels et en présentant la procédure de manière chronologique, sous la forme d'un plan de mise en œuvre concret. Les mesures résolvant des problèmes urgents ou pouvant être réalisées sans délai sont proposées en

première étape. Les autres mesures liées à des potentiels d'économie évidents complètent le plan de mise en œuvre.

Une vue d'ensemble des risques possibles montre tout ce qui pourrait mal se passer. Les risques énumérés devraient être discutés en détail avec le mandant. Il pourra ainsi décider s'il faut prévoir des mesures pour assurer l'exploitation exigée ou encore si une mesure comportant des risques ne doit pas être réalisée.

### Décisions annuelles quant aux mesures à réaliser

Le spécialiste OéE informe le décideur de l'évolution de l'optimisation une fois par année, idéalement sous forme d'une présentation suivie d'une discussion. Au moyen des résultats annuels, le spécialiste OéE élabore un plan de mise en œuvre concret avec une formulation des objectifs pour l'année suivante. Les objectifs définis au début de l'OéE sont le cas échéant adaptés au dernier état des connaissances et aux résultats d'optimisation. Une fiche résumant les économies pertinentes et les mesures correspondantes convient très bien pour consigner les résultats annuels d'optimisation. Le décideur se prononce sur la proposition du spécialiste OéE, annonce ses besoins et mobilise les ressources pour l'année suivante.

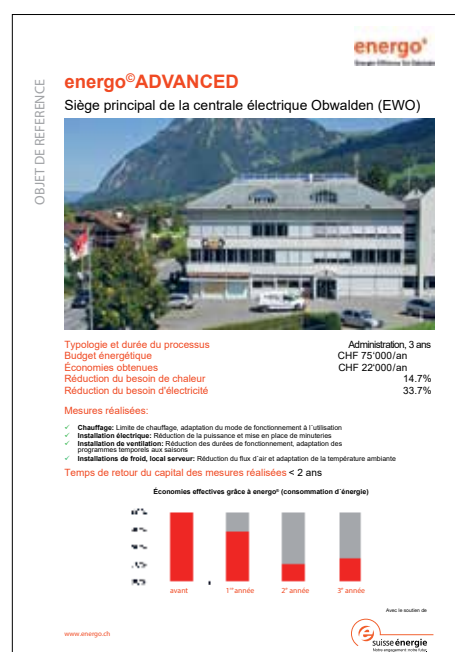


Illustration 4.17:  
Exemple d'une fiche technique OéE.  
(Source: energo)

## 4.8 Optimisation de l'exploitation avec et sans investissement?

Les mandants préfèrent généralement une OéE sans investissement. Néanmoins, la question des investissements se pose de manière récurrente, ceci aussi parce que l'accroissement de l'efficacité et les économies supplémentaires de coûts énergétiques ne sont pas en corrélation avec l'investissement engendré par les mesures d'optimisation.

Il faut d'abord clarifier la signification du terme investissement dans ce contexte. Les investissements d'une OéE dans le sens de coûts matériels et d'installation peuvent être égaux à zéro. En revanche, une approche professionnelle entraîne toujours des honoraires minimes du spécialiste OéE. Les considérations suivantes tiennent compte des honoraires du spécialiste OéE. Nous distinguons deux phases. La phase 1 ne comporte jamais d'investissements pour du matériel et des installations.

### Phase 1

La première année de mise en œuvre de mesures commence après l'année de réf-

rence au cours de laquelle les données énergétiques sont recueillies. Pendant cette première phase (illustration 4.18), on procède à l'analyse des données énergétiques et au calcul des indices. Parallèlement, il est tout à fait possible de réaliser des premières mesures immédiates à partir des suggestions de l'exploitant. Il s'agit la plupart du temps de mesures non planifiées, impliquant peu d'effort, à réaliser de préférence en amont et sans avoir fait un pronostic de leurs impacts. Lors d'une visite prévue pour identifier ces mesures, le spécialiste OéE prend connaissance du savoir-faire, des expériences et des suggestions de l'exploitant. Il en découle souvent les premières mesures qui peuvent être réalisées sur le champ sous l'instruction du spécialiste OéE. Voici quelques mesures immédiates plausibles (voir également l'illustration 4.19):

- Vérification grossière du concept
- Résolution des problèmes en suspens côté exploitant des installations
- Élimination de dysfonctionnements
- Élimination de points faibles
- Vérification des paramètres de réglage

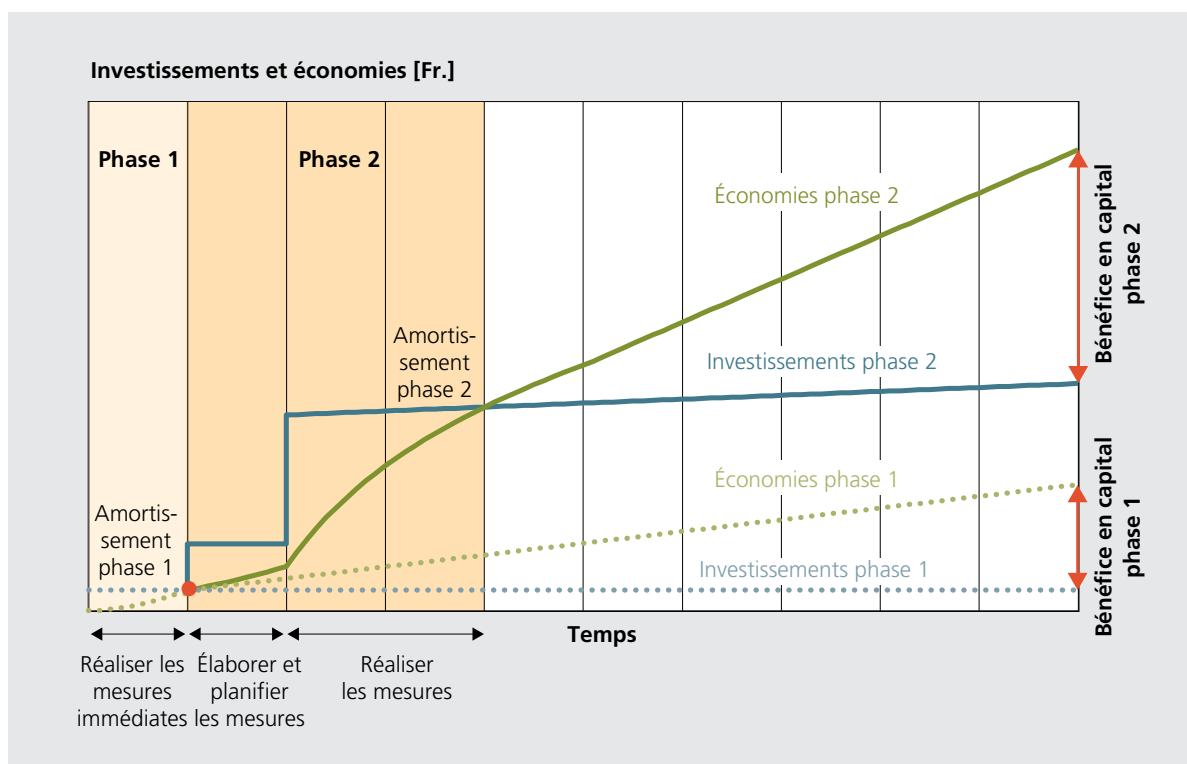


Illustration 4.18: Comparaison des investissements et des économies de coûts énergétiques cumulés pour les phases 1 et 2, pour la réalisation des mesures.

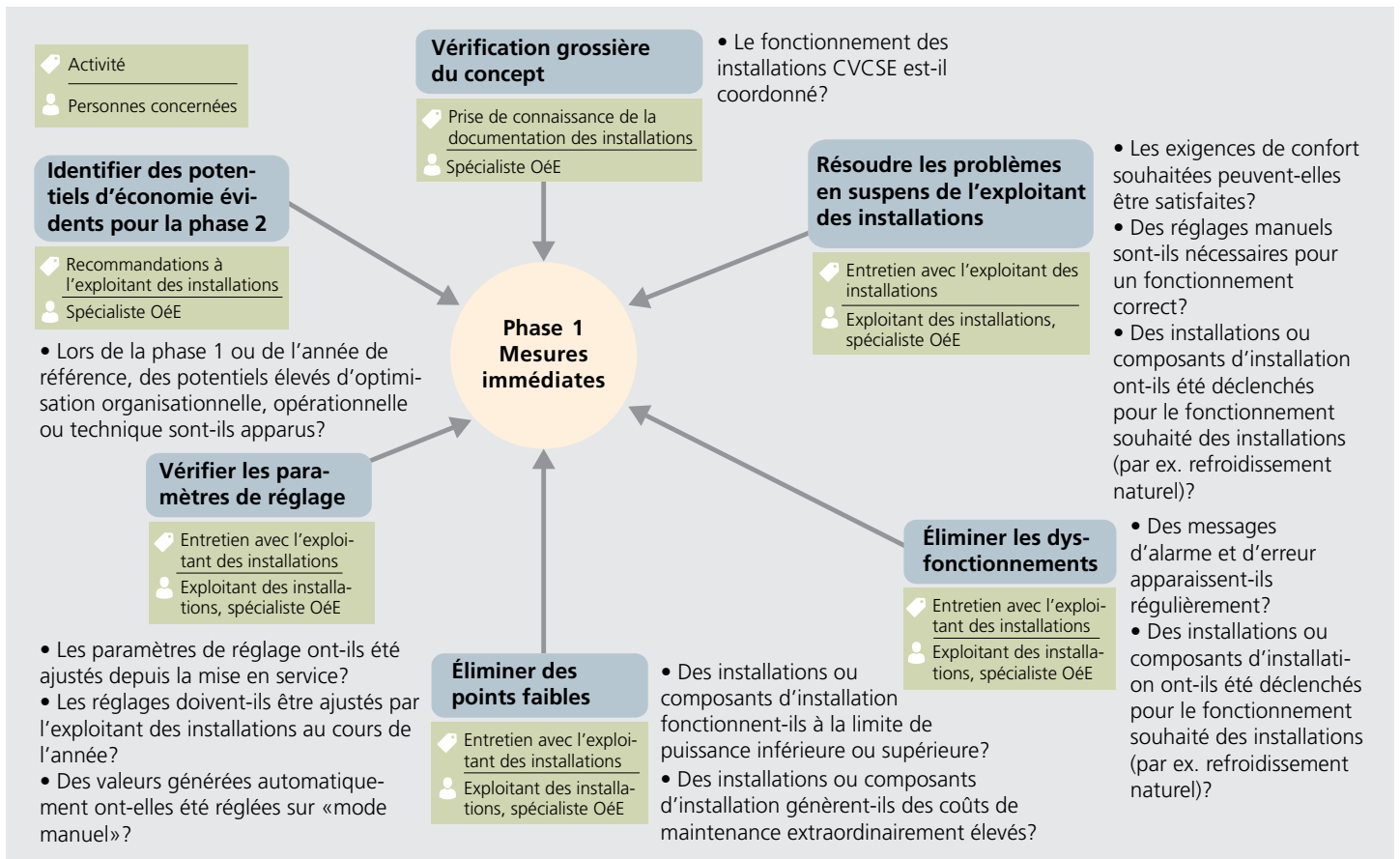


Illustration 4.19: Procédures de la phase 1 (optimisation de l'exploitation sans investissement matériel et d'installations).

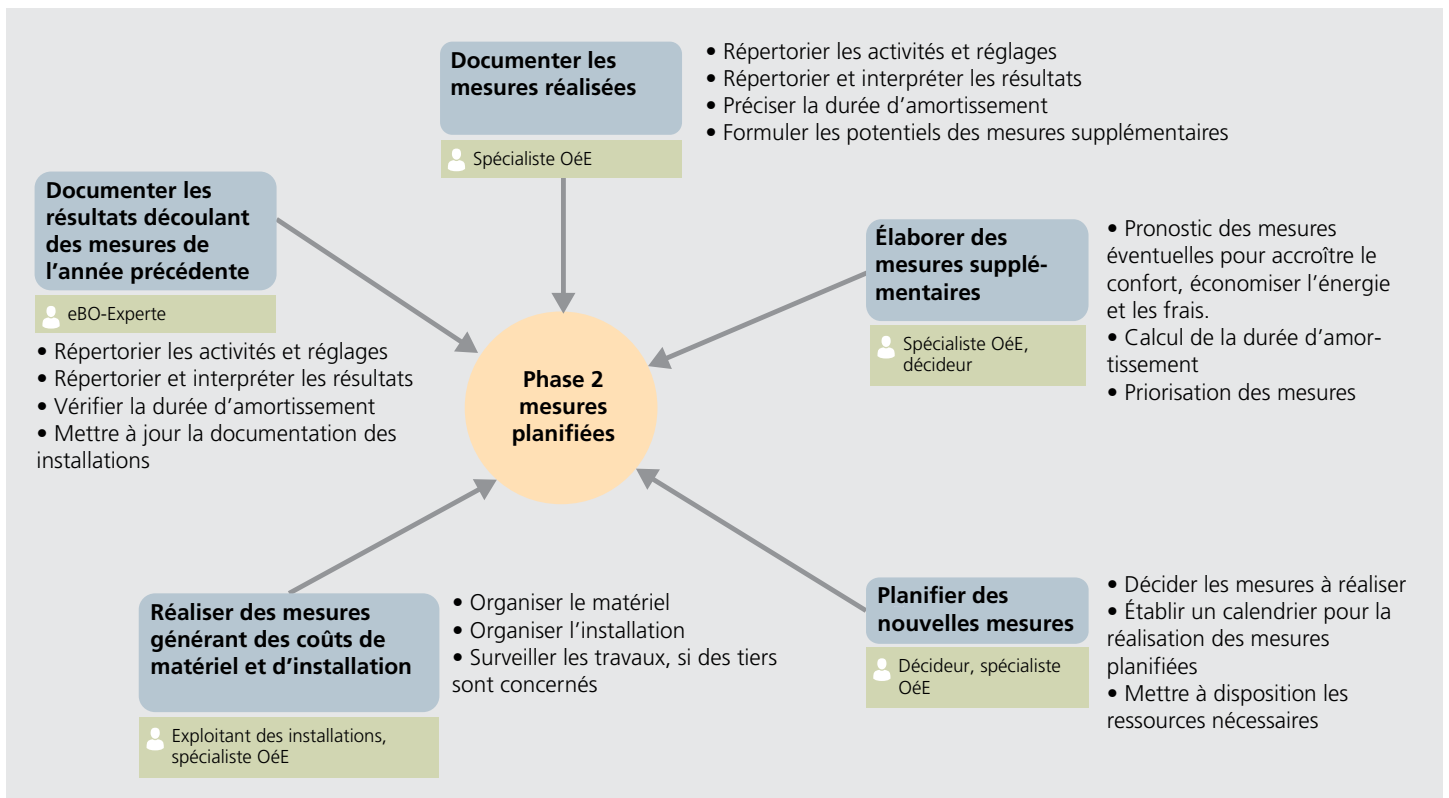


Illustration 4.20: Procédures de la phase 2.



En outre, il faut informer l'exploitant des potentiels d'optimisation évidents pour la phase 2.

Dès lors, pendant la phase 1, l'exploitant réalise lui-même des mesures sans investissement matériel et sans prestation d'artisans, de techniciens de régulation, etc.. Ce faisant, il faut être attentif à la garantie de la sécurité.

Des économies allant jusqu'à 10 % sont déjà possibles dans cette phase. Cette démarche ne se limite pas seulement à une optimisation d'exploitation globale et professionnelle, elle est aussi utile lors d'actions ponctuelles ou d'interventions uniques dans le cas d'objets plus petits. La durée d'amortissement, y compris les honoraires du spécialiste OéE, est très courte dans la phase 1. Des durées inférieures à 2 ans sont visées (illustration 4.18).

### Phase 2

La phase 2 peut occasionner des investissements. En voici les raisons:

- Documentation des mesures réalisées jusque-là
- Élaboration des mesures ultérieures
- Planification de nouvelles mesures
- Réalisation de mesures avec des consé-

#### Délimitation de la phase 2

Le remplacement d'installations complètes ou de composants d'une installation par des systèmes alternatifs tels que le remplacement d'une chaudière par une pompe à chaleur ne fait pas partie d'une OéE. Par contre, le remplacement de lampes est considéré comme partie d'une OéE à condition qu'aucune intervention de planification ne soit nécessaire. Si une planification est requise, il s'agit d'un projet séparé. Il arrive souvent que des dispositifs de mesures supplémentaires doivent être installés afin de pouvoir effectuer une OéE transparente. L'établissement du concept de mesure correspondant et sa mise en œuvre constituent également un projet distinct, car ils nécessitent une planification de l'installation. L'expert OéE assiste le mandant dans cette démarche.

quences financières pour le matériel et l'installation

- Documentation des résultats des mesures de l'année précédente

La phase 2 fait exclusivement partie d'une OéE professionnelle et ne peut pas être réalisée comme une action isolée (délimitation de la phase 2 voir encadré).

En raison d'investissements plus élevés, la phase 2 est rentable seulement pour des biens immobiliers d'une certaine taille avec des coûts annuels d'électricité et de production de chaleur dès 50 000 Fr. environ. Dans la phase 2, le potentiel d'économies augmente considérablement par rapport à la phase 1 – à condition que la durée d'amortissement reste nettement plus courte que la durée de vie résiduelle probable. En tout, des économies d'énergie et de coûts énergétiques jusqu'à 30 % sont possibles. Néanmoins, cela nécessite dans la plupart des cas des cycles répétés de la phase 2 (l'illustration 4.18 représente un seul cycle). Les changements d'utilisation pendant l'OéE impliquent des mesures supplémentaires pouvant entraîner des coûts d'investissement. Ces coûts ne peuvent cependant pas être imputés à l'OéE.

L'optimisation énergétique de l'exploitation est donc un processus durable qui doit valoir la peine dans son ensemble. Toutefois, dès qu'une mesure exige un processus de planification selon la SIA, celle-ci n'est plus considérée comme une optimisation énergétique, mais comme un assainissement énergétique.

### 4.9 Rentabilité

Lors d'une OéE, on parle souvent de la durée d'amortissement (payback) des mesures ponctuelles. Mais comment la rentabilité doit-elle être correctement calculée? D'autre part, existe-t-il des méthodes appropriées pour analyser la rentabilité du processus OéE dans son entier?

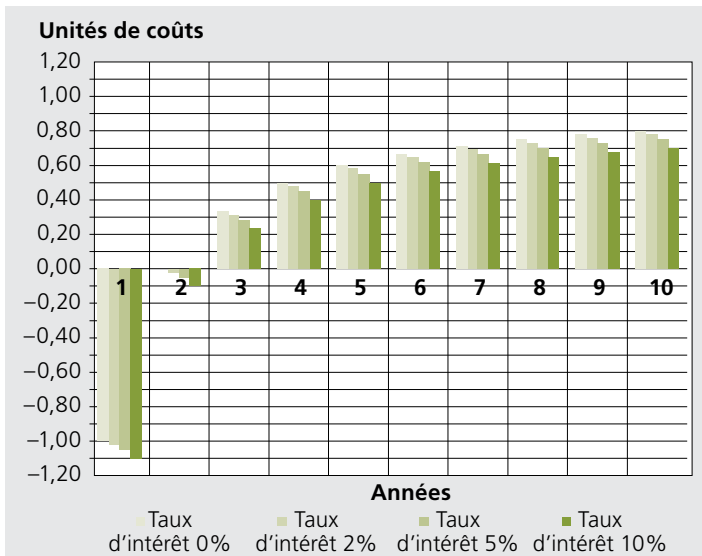
D'autres part, existe-t-il des méthodes appropriées pour analyser la rentabilité du processus OéE dans son entier? Les méthodes d'analyse de rentabilité peuvent être classées en méthodes statiques et dynamiques. Dans une OéE, la méthode statique est la plus souvent utilisée pour calculer la durée d'amortissement. Toutes les méthodes sont basées sur la comparaison des investissements et des bénéfices. Ces méthodes ont pour objectif de répondre à deux questions qui concernent d'une part la planification OéE et d'autre part le calcul des pertes et profits du processus OéE en cours:

- L'OéE réduit-elle les coûts? Si oui, de quel montant?
- Quelles mesures d'optimisation sont les plus rentables (comparaison des variantes)?

Les méthodes suivantes sont susceptibles de répondre à ces questions:

- 1) a) Calcul statique de comparaison des bénéfices  
b) Calcul dynamique de comparaison des bénéfices
- 2) a) Amortissement statique  
b) Amortissement dynamique
- 3) a) Taux d'intérêt interne statique  
b) Taux d'intérêt interne dynamique

*Illustration 4.21: Exemple d'un calcul statique permettant la comparaison des bénéfices sur 10 ans.*



Les méthodes statiques sont en général adaptées pour l'acquisition et l'élaboration des mesures. Les méthodes dynamiques sont adaptées pour le contrôle de résultat et la garantie des mesures d'une OéE.

#### Méthodes statiques de calcul de rentabilité

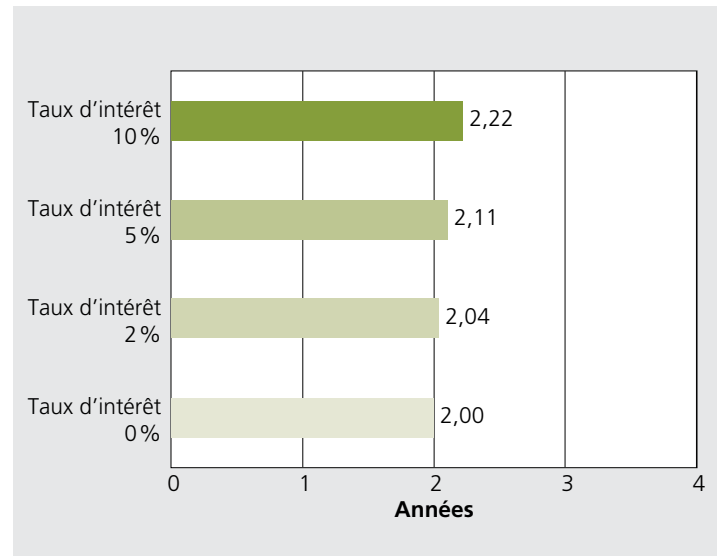
Les méthodes statiques permettent d'effectuer des calculs approximatifs simples. Cependant, ils sont très imprécis, car ils ne prennent pas en compte l'inflation ainsi que d'autres modifications à venir concernant les coûts ou les données liés à l'exploitation. L'annexe B de la SIA 382/1 indique les durées d'utilisation (durées de vie technique) et les coûts d'entretien en % des coûts d'investissement.

#### Caractéristiques du calcul statique permettant une comparaison des bénéfices (1a)

La méthode de calcul statique de comparaison des bénéfices (illustration 4.21) présente les caractéristiques suivantes:

- Elle détermine le bénéfice annuel moyen engendré par les mesures réalisées.
- Le terme bénéfice signifie ici les économies annuelles par rapport à l'état actuel.
- Le calcul des économies se fait sur la base de l'année en cours et des prix actuels.
- Elle tient compte des coûts d'amortissement et des charges financières ( $K_A$  et  $K_K$ ).
- Elle ne tient pas compte de l'inflation.

*Illustration 4.22: Exemple d'un amortissement statique pour une durée d'utilisation de 10 ans.*



## Recueil de formules/rentabilité

### Méthodes statiques

#### Calcul statique de comparaison des bénéfices (1a)

Bénéfice  $G$  d'un investissement d'optimisation  $l$ :

$$G = N - K_A - K_K = (K_{B0} - K_{B1}) - \frac{l}{n} - (0,5 \cdot l \cdot i) \quad (1)$$

#### Amortissement statique (payback statique) (2a)

Durée d'amortissement  $\rho_0$ :

$$\rho_0 = \frac{l}{N - K_K} = \frac{l}{(K_{B0} - K_{B1}) - (0,5 \cdot l \cdot i)} \quad (2)$$

#### Taux d'intérêt interne statique (3a)

$$i_0 = \frac{N - K_A}{0,5 \cdot l} = \frac{(K_{B0} - K_{B1}) - \frac{l}{n}}{0,5 \cdot l} \quad (3)$$

### Méthodes dynamiques

Facteur d'annuité  $a$ :

$$a = \frac{(1 + i)^n \cdot i}{(1 + i)^n - 1} \quad (4)$$

Facteur de capitalisation  $d$ , y compris le renchérissement:

$$d = (1 + e) \cdot \frac{(1 + i)^n - (1 + e)^n}{(1 + i)^n \cdot (i + e)} \quad (5)$$

Facteur de valeur moyenne  $m$ :

$$m = a \cdot d \quad (7)$$

Valeur en capital  $C$ :

$$C = -l + N \cdot d \quad (8)$$

### Calcul dynamique de comparaison des bénéfices (1b)

Bénéfice  $G$  d'une mesure d'optimisation avec la valeur en capital  $C$ :

$$G = C \cdot a = -l \cdot a + N \cdot d \cdot a = -l \cdot a + N \cdot m \quad (9)$$

### Amortissement dynamique (payback dynamique) (2b)

Durée d'amortissement  $\rho_0$ :

$$\rho_0 = f(C, n); C = 0 \quad (10)$$

### Taux d'intérêt interne dynamique (3b)

Taux d'intérêt interne  $i$ :

$$i_0 = f(C, i); C = 0 \quad (11)$$

### Légende

$a$	Facteur d'annuité	–
$C$	Valeur en capital sur la durée d'utilisation	[Fr.]
$d$	Facteur de capitalisation y compris le renchérissement	–
$e$	Renchérissement	–
$G$	Bénéfice	[Fr./a]
$l$	Investissement pour des mesures d'optimisation	[Fr.]
$i$	Taux d'intérêt	–
$i_0$	Taux d'intérêt interne	–
$K$	Coûts annuels	[Fr.]
$K_A$	Coûts d'amortissement	[Fr.]
$K_B$	Coûts d'exploitation	[Fr.]
$K_{B0}$	Coûts d'exploitation état actuel	[Fr./a]
$K_{B1}$	Coûts d'exploitation valeur de consigne	[Fr./a]
$K_K$	Charges financières	[Fr.]
$m$	Facteur de valeur moyenne	–
$N$	Bénéfice net généré par les mesures d'optimisation	[Fr.]
$n$	Durée d'utilisation	[a]
$\rho_0$	Durée d'amortissement (payback)	[a]

■ Les charges restent inchangées pour toute la durée d'utilisation.

Le calcul s'effectue au moyen de la formule 1 dans l'encadré «Recueil de formules / rentabilité» de la page 113. Néanmoins, lors de la comparaison des mesures, ce n'est pas forcément la mesure avec le bénéfice le plus important qui est la plus rentable. Afin de pouvoir se prononcer sur la rentabilité, les éventuels investissements nécessaires sont également à prendre en compte. Le calcul statique de comparaison des bénéfices est adapté pour déterminer la variante la plus rentable parmi celles qui sont envisagées. Les charges d'exploitation tiennent compte ici des économies prévues pour l'énergie desquelles sont soustraits les coûts pour l'OéE (honoraires du spécialiste et coûts pour le suivi énergétique).

#### Caractéristiques de la méthode d'amortissement statique (2a)

La méthode d'amortissement statique présente les caractéristiques suivantes (illustration 4.22):

- Elle détermine la durée de temps nécessaire jusqu'à la récupération du capital investi.
- Elle tient compte des économies de coûts de l'OéE.
- Elle tient compte des charges financières.
- Les économies sont déterminées sur la base de l'année en cours et des prix actuels.
- Elle ne tient pas compte de l'inflation.
- Sur la durée d'utilisation, les charges ne sont pas recalculées en fonction de l'inflation ou d'autres paramètres.
- Elle ne tient pas compte des coûts d'amortissement  $K_A$ .

Le calcul de l'amortissement statique s'effectue au moyen de la formule 2 dans l'encadré de la page 113. Dans le cadre d'une OéE, la durée d'amortissement est souvent utilisée comme un objectif permettant de définir quelles mesures seront réalisées. Étant donné que la durée de remboursement devrait être courte (2 ans, par exemple) et que le rendement n'est pas la première priorité,

la méthode statique se prête bien pour évaluer les mesures planifiées.

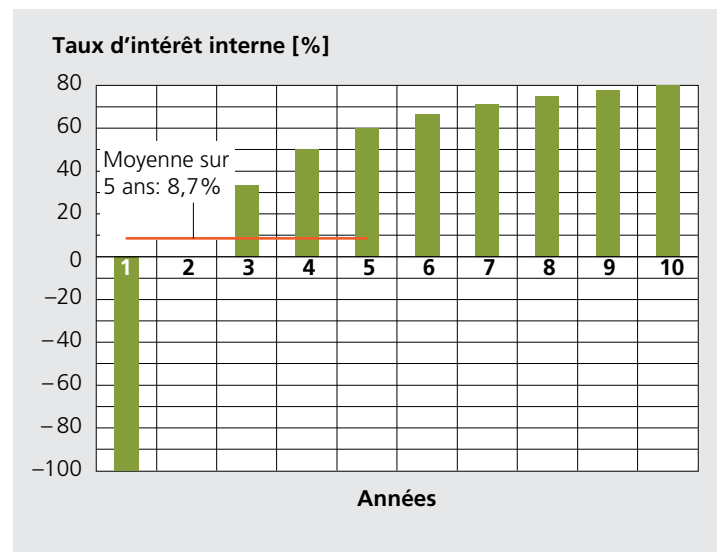
#### Caractéristique de la méthode du taux d'intérêt interne statique (3a)

Voici les caractéristiques de la méthode du taux d'intérêt interne statique (illustration 4.23):

- Elle calcule le taux moyen d'intérêt interne généré pour les mesures d'optimisation sur une durée d'utilisation définie.
- Les exigences posées ne sont pas des paramètres énergétiques, mais le taux d'intérêt défini par le décideur.
- Elle ne tient pas compte de l'inflation.
- Elle tient compte de l'amortissement  $K_A$ .

Le calcul du taux d'intérêt interne statique s'effectue au moyen de la formule 3 dans l'encadré de la page 113. Si le décideur spécifie un taux d'intérêt minimum sur une durée d'utilisation ou d'investissement définie, cette méthode permet de déterminer les taux d'intérêt internes à atteindre par les mesures. Les recettes nettes  $N$  sont égales aux coûts d'exploitation économisés, additionnés des dépenses supplémentaires occasionnées par l'OéE (honoraires du spécialiste, suivi énergétique, dépenses supplémentaires d'exploitation, etc.).

Illustration 4.23:  
Évolution du taux d'intérêt interne statique sur dix ans.



### Méthodes dynamiques de calcul de rentabilité

Si les effets de l'OéE doivent être considérés sur une longue période, par exemple sur toute la durée de vie des installations, seules les analyses dynamiques de rentabilité sont appropriées (méthodes b). Elles ont pour objectif de pronostiquer correctement les dépenses annuelles en tenant compte du renchérissement, des prix de l'énergie fluctuants ainsi que des coûts d'exploitation et d'entretien.

Le facteur d'annuité indexe le facteur de récupération du capital investi avec un taux d'intérêt donné en fonction de la période considérée. Il est calculé à l'aide de la formule 4 dans l'encadré de la page 113.

Pour que les flux d'argent soient comparables, ils doivent être actualisés par rapport à une échéance précise. Il s'agit en principe du jour où l'investissement a été fait. Le processus d'actualisation incluant l'inflation est également appelé facteur de capitalisation. Le renchérissement tient compte de l'évolution des prix de l'énergie. La valeur escomptée à la date de l'investissement d'un montant futur est appelée valeur actuelle ou valeur actualisée. Le facteur de capitalisation est calculé à l'aide de la formule 5 dans l'encadré de la page 113.

*Illustration 4.24: Exemple d'un calcul de comparaison des bénéfices sur 10 ans incluant le renchérissement (dynamique).*

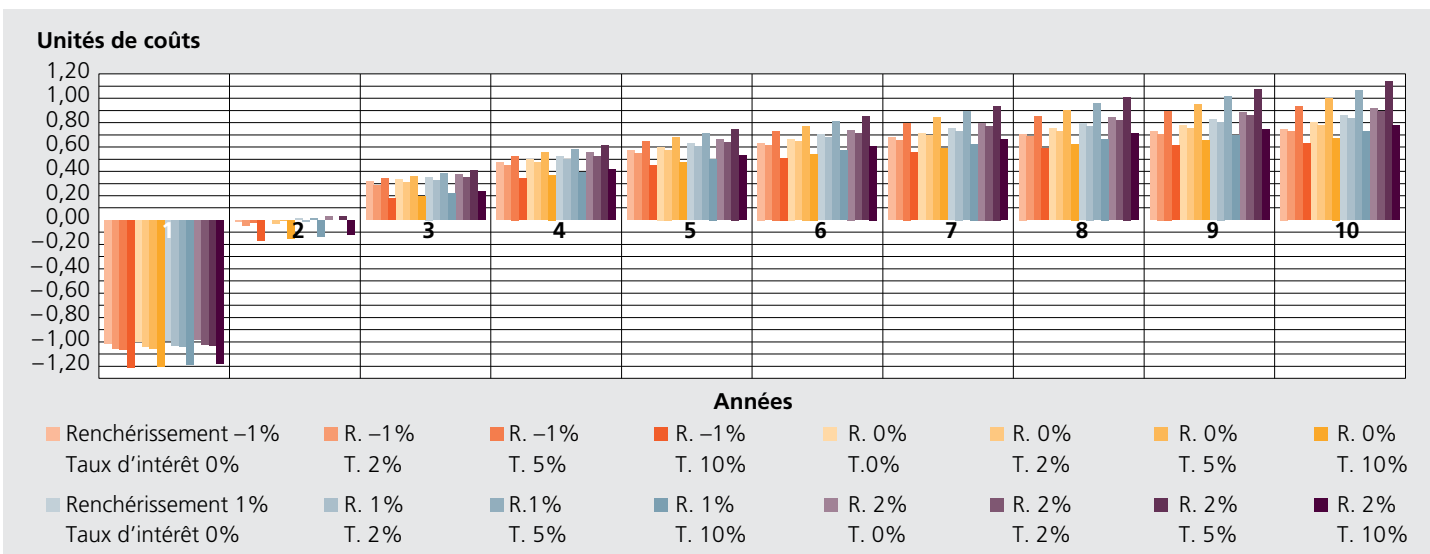
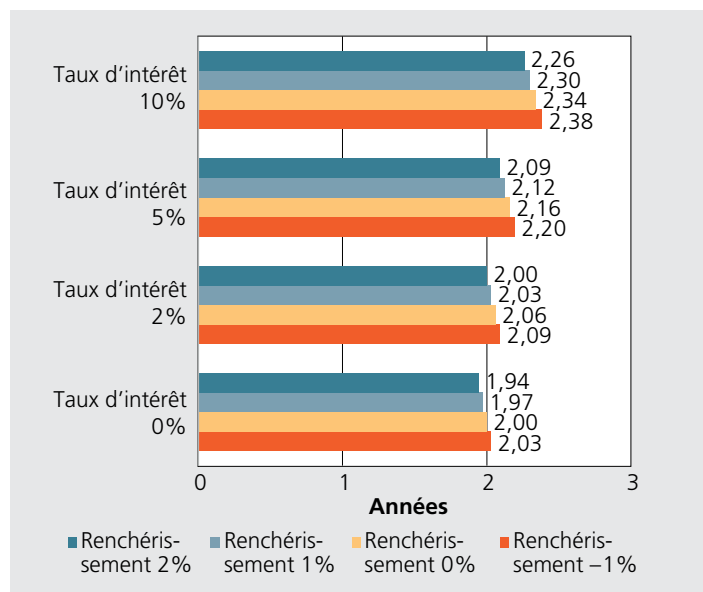
En multipliant le facteur d'annuité avec le facteur de capitalisation incluant le renchérissement, on obtient le facteur de valeur moyenne  $m$ .

Il est calculé à l'aide de la formule 7 dans l'encadré de la page 113.

La valeur en capital est la somme des valeurs actuelles de toutes les dépenses et recettes sur l'ensemble de la période de calcul considérée, calculées avec le taux d'actualisation. Une optimisation est rentable si la valeur en capital est égale ou supérieure à zéro.

Les recettes nettes  $N$  sont égales aux recettes du fait des économies d'énergie additionnées aux dépenses occasionnées par l'OéE (honoraires du spécialiste, suivi énergétique, etc.) aux conditions en cours. La valeur en capital est calculée au moyen de la formule 8 dans l'encadré de la page 113.

*Illustration 4.25: Exemple d'un amortissement pour une durée d'utilisation de 10 ans incluant le renchérissement (dynamique).*



### Caractéristiques du calcul dynamique permettant une comparaison des bénéfices (1b)

La méthode de calcul dynamique de comparaison des bénéfices (illustration 4.24) présente les caractéristiques suivantes:

- Elle détermine le bénéfice annuel moyen engendré par les mesures réalisées.
- Le terme bénéfice signifie ici les économies annuelles par rapport à l'état actuel.
- Les économies de coûts se basent sur l'année en cours et les prix actuels.
- Elle tient compte des coûts d'amortissement et des charges financières  $K_A$  et  $K_K$ .
- Elle tient compte du renchérissement en incluant l'évolution des prix de l'énergie.
- Elle tient compte de la modification de la valeur temps du capital investi.

Le calcul dynamique de comparaison des bénéfices s'effectue au moyen de la formule 9 dans l'encadré de la page 113. Le calcul dynamique de comparaison des bénéfices permet d'indiquer de manière transparente le rendement que les mesures d'une OéE génèrent annuellement. Cette méthode est idéale pour documenter les objectifs atteints, surtout parce que les bénéfices sont mis en évidence de manière

impressionnante sur toute la durée d'utilisation des installations. Pour les recettes nettes  $N$ , il est important de tenir compte des économies prévues, y compris le renchérissement. Les honoraires du spécialiste et les coûts d'un éventuel suivi énergétique, s'il a été mis en place spécifiquement pour l'OéE, sont déduits des coûts d'investissement.

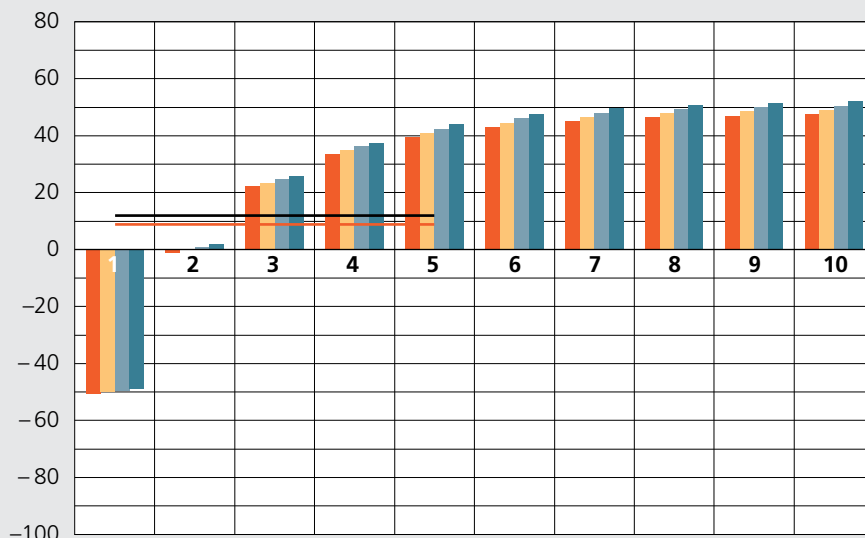
### Caractéristiques de la méthode d'amortissement dynamique

La méthode d'amortissement dynamique (illustration 4.25) est similaire à la méthode d'amortissement statique.

- Néanmoins, elle tient compte du renchérissement.
- Elle tient également compte de la modification de la valeur temps du capital d'investissement.
- L'amortissement est atteint au moment où la valeur en capital  $C$  est égale à zéro.

L'amortissement dynamique est calculé au moyen de la formule 10 dans l'encadré de la page 113. L'amortissement dynamique résulte de l'interpolation avec la durée d'utilisation jusqu'à ce que la valeur en

Taux d'intérêt interne [%]



Années

- Renchérissement -1%
- Renchérissement 0%
- Renchérissement 1%
- Renchérissement 2%
- Renchérissement -1% Moyenne sur 5 ans: 8,8%
- Renchérissement 2% Moyenne sur 5 ans: 12,1%

Illustration 4.26: Évolution du taux d'intérêt interne sur dix ans incluant le renchérissement (dynamique).

capital soit égale à zéro. Il est utilisé pour l'évaluation ultérieure d'une OéE lors du contrôle des résultats.

### Caractéristiques de la méthode du taux d'intérêt interne dynamique (3a)

Voici les caractéristiques de la méthode du taux d'intérêt interne dynamique (illustration 4.26):

- Elle calcule le taux moyen d'intérêt interne généré pour les mesures d'optimisation sur une durée d'utilisation définie.
- Les objectifs définis au départ ne sont pas des paramètres énergétiques, mais le taux d'intérêt à atteindre et exigé par le décideur.
- Elle tient compte du renchérissement.
- Elle tient compte de la modification de la valeur temps du capital investi.
- Elle tient compte de l'évolution des prix de l'énergie.

Le taux d'intérêt interne dynamique est calculé à l'aide de la formule 11 dans l'encadré de la page 113. La valeur en capital C est ici interpolée avec la variation du taux d'intérêt interne  $i_0$ , jusqu'à ce que la valeur en capital soit égale à zéro. À cet effet, on peut recourir à la fonction de recherche de valeur cible dans Excel. Si le décideur fixe un taux d'intérêt minimum

sur une durée d'utilisation définie, cette méthode permet de confirmer qu'il a été atteint. Ici, la durée d'utilisation correspond souvent à la durée de vie résiduelle probable des installations techniques.

Il arrive souvent qu'une OéE entraîne des subventions ou encore une exonération des taxes sur le CO<sub>2</sub>. Dans ce cas, les subventions peuvent être déduites du capital investi. L'exonération des taxes sur le CO<sub>2</sub> a un effet positif sur les coûts énergétiques annuels et influence les recettes nettes N.

### Quelle méthode est appropriée pour quel usage?

Par principe, des méthodes différentes fournissent des indications différentes. Les intervenants dans une OéE adoptent souvent des perspectives très variées. Si l'exploitant des installations et le spécialiste OéE sont au fait des indices de dépense d'énergie, ils peuvent sans autres recourir à ceux-ci. Pour les utilisateurs (locataires) et le décideur, les résultats financiers sont beaucoup plus parlant.

Le tableau 4.5 montre des critères appropriés de documentation ou de communication en fonction des intervenants et des phases d'une OéE. Il en ressort que les intervenants ont des critères d'appréciations différents.

	Acquisition	Année de référence	Mesures immédiates	Planifier les mesures (comparaison des variantes)	Réaliser les mesures	Contrôle de résultat	Consolidation des mesures (suivi énergétique)
Utilisateur final	K	K	K	K	K	K	K
Locataire	K, (W3a)	K, (W3a)	K	K	K	K, (W3b)	K
Propriétaire	K, W2a, E	K, W2a, E	K, (E)	K, W2a, E	E	K, W2b, E	K, W1b, E
Exploitant	E, (W1a)	E, (W1a)	E	E, (W1a)	E	E, (W1b)	E, (W1b)
Décideur	W3a, E	W2a, W3a, E	E	W2a, W3a, E	E	W1b, W2b, W3b, E	W1b, E
<b>Légende</b>							
<b>Confort</b>			<b>Rentabilité, statique</b>				
K	Critères touchant au confort		W1a	Calcul de comparaison des bénéfiques			
<b>Efficacité énergétique</b>			W2a	Amortissement (payback)			
E	Indices de dépense énergétique		W3a	Taux d'intérêt interne			
			<b>Rentabilité, dynamique</b>				
			W1b	Calcul de comparaison des bénéfiques			
			W2b	Amortissement (payback)			
			W3b	Taux d'intérêt interne			

**Tableau 4.5:**  
Quels acteurs s'intéressent à quels aspects (économiques) lors d'une OéE?

## 4.10 Contrôle et garantie de résultat

Le contrôle de résultat s'effectue en continu après la réalisation des mesures et compare les valeurs réelles avec les valeurs pronostiquées. Les dispositifs de mesure requis à cet effet sont supposés être disponibles – par exemple, un monitoring des données énergétiques, y compris l'évaluation à l'aide d'un système de suivi énergétique. Le contrôle de résultat permet de compléter ou définir les mesures à prendre pour la période suivante. Pour l'essentiel, les quatre aspects suivants sont à évaluer:

- Satisfaction des utilisateurs
- Indices de dépense d'énergie
- Rentabilité
- Impact environnemental

Le recours à un système de suivi énergétique accompagne de manière idéale les analyses. Un tel système convient non seulement au contrôle de résultat, mais garantit aussi une réussite à long terme. À la différence du monitoring énergétique qui visualise les données enregistrées dans une banque de données, le suivi énergétique permet en plus une comparaison avec les valeurs de consigne. Le cas échéant, la comparaison est aussi possible avec les valeurs précédant l'optimisation de l'exploitation.

### Satisfaction des utilisateurs

Afin d'évaluer pleinement le succès d'une OéE, les données du suivi énergétique sont complétées par un sondage auprès des utilisateurs. Le suivi énergétique enregistre des paramètres de confort tels que températures, taux d'humidité et qualité de l'air ambiant. La consommation d'énergie utile pour chauffer, refroidir et ventiler les locaux démontre l'efficacité énergétique liée au comportement des utilisateurs.

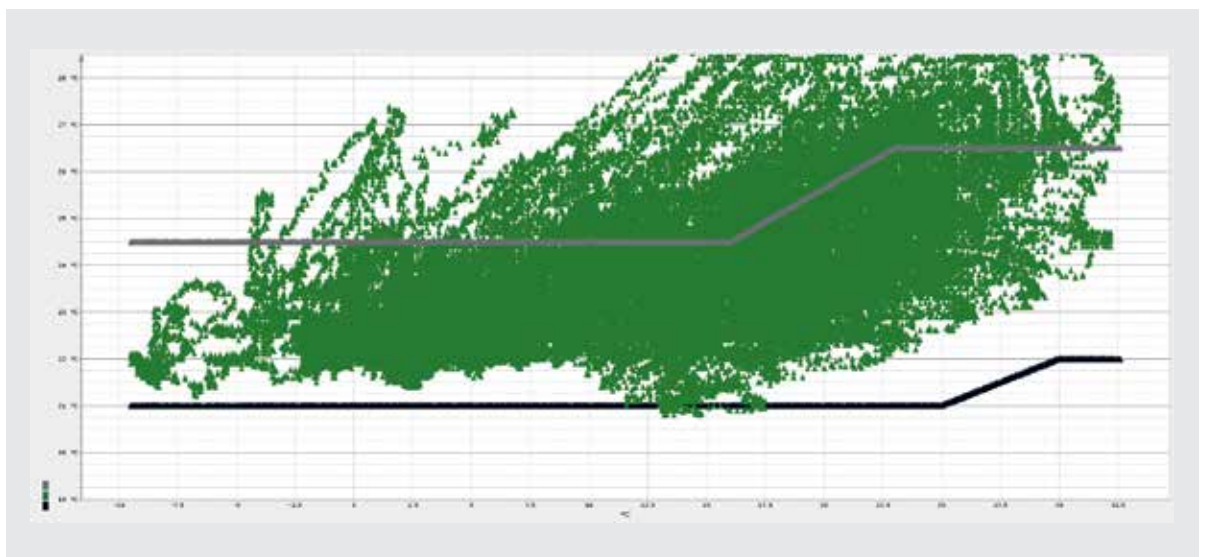
Si un système de gestion énergétique a déjà été mis en place, une analyse supplémentaire d'anciennes données aide à documenter les résultats. Cela comprend les comportements des vannes de régulation, températures, séquences de réglage, etc. Avant de commencer une OéE, il faut contrôler si le système de gestion enregistre correctement les données importantes et les convertit de manière pertinente en tendance archivée. L'analyse tout comme le contrôle de résultat implique de pouvoir exporter un fichier CSV de certaines données d'automatisation du bâtiment permettant de les analyser de manière ciblée.

### Indices de dépense d'énergie

Avant de pouvoir comparer des données énergétiques, il faut les corriger par rapport à un climat standard. Pour l'énergie thermique, il existe deux types de correction:

- La correction avec les degrés-jour de chauffage (DJC)

Illustration 4.27:  
Température de l'air ambiant comparée aux valeurs limites de la SIA 180 (température de l'air ambiant en fonction de la température de l'air extérieur). (Source: Enastra AG)





- La correction avec les écarts de température cumulés (ETC)

La méthode des degrés-jour de chauffage a été remplacée en 2015 par la méthode de l'écart de température cumulé parce que la correction avec l'ETC s'approche davantage des besoins de chaleur standard (illustration 4.28).

La correction des valeurs énergétiques peut être effectuée à l'aide des valeurs DJC et ETC disponibles auprès de MétéoSuisse. L'écart de température cumulé est la somme

des écarts positifs entre la température de base et la température extérieure moyenne journalière durant les jours de la période considérée. La méthode de conversion ECT est décrite à l'annexe G de la SIA 380.

La correction des dépenses énergétiques de refroidissement s'effectue de manière analogue au moyen des degrés-jour de refroidissement (DJR). Cependant, la méthode est très imprécise lorsque l'air est déshumidifié en plus d'être refroidi, car les DJR ne prennent en compte que les charges frigorifiques sensibles et non celles

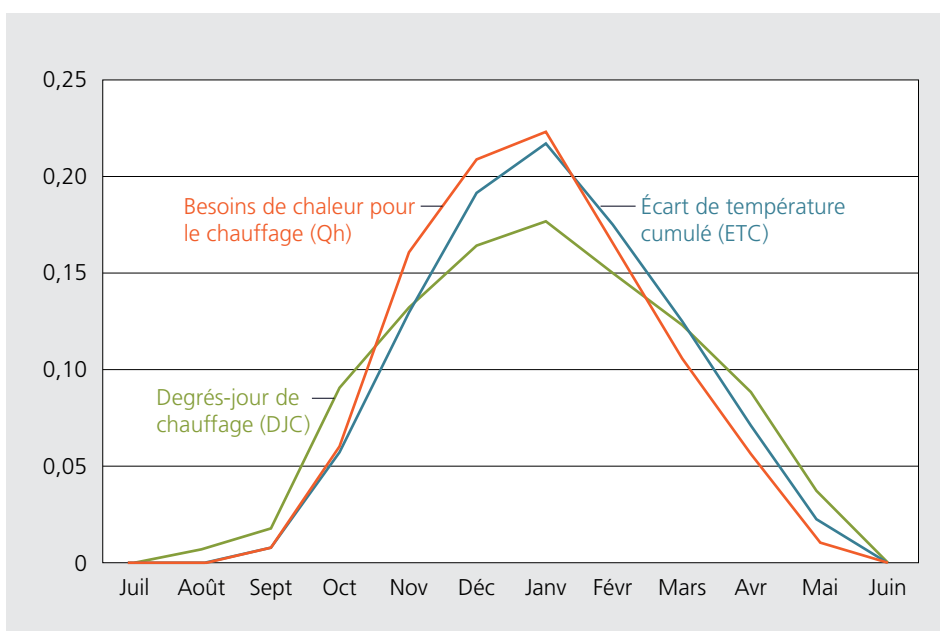


Illustration 4.28: Degrés-jour de chauffage (DJC) et écart de température cumulé (ETC) comparés aux besoins effectifs de chaleur pour le chauffage (Qh). (Source: Gerhard Zweifel, SIA)

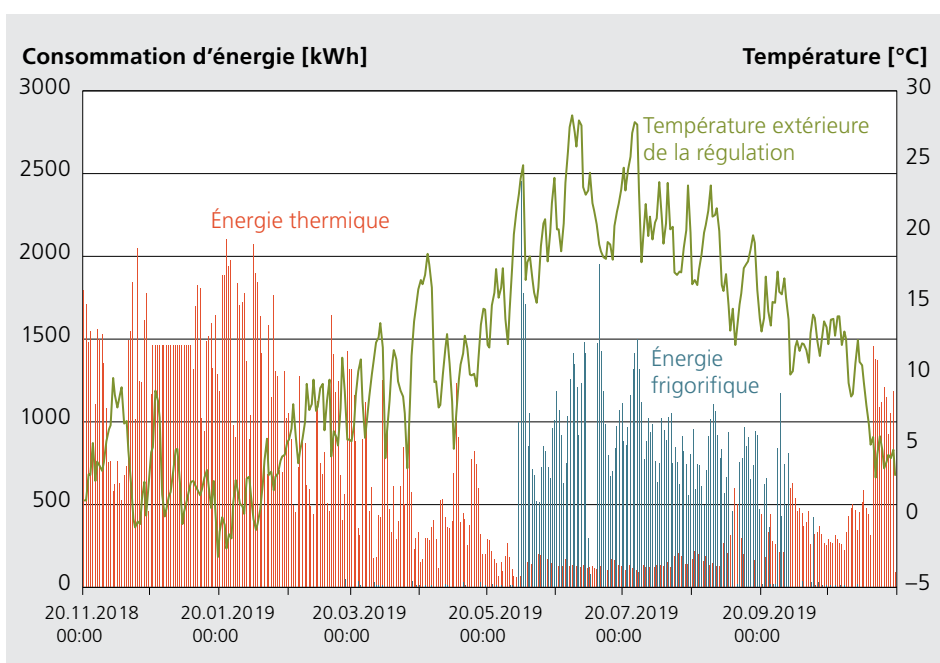


Illustration 4.29: Vue d'ensemble de la consommation annuelle d'énergie thermique et frigorifique avec courbe de la température extérieure. (Source: Enastra AG)

latentes, engendrées par la déshumidification. Une méthode analogue à la méthode ECT pour le chauffage serait envisageable pour le refroidissement. Elle se base sur l'écart d'enthalpie cumulé (h) qui est la somme des écarts positifs entre une enthalpie de base et l'enthalpie extérieure moyenne journalière durant les jours de la période considérée.

### Rentabilité

L'intégration des coûts énergétiques dans un suivi énergétique n'est pas très pertinente car peu lisible. La représentation des coûts énergétiques en cours ou cumulés est plus parlante. Les méthodes de calcul de rentabilité détaillées sont décrites au chapitre 4.9.

### Impact environnemental

Il est possible de chiffrer l'impact environnemental en convertissant la consommation d'énergie finale à l'aide des facteurs d'énergie primaire actuels et des coefficients de gaz à effet de serre, correspondants aux agents énergétiques utilisés. Ces facteurs sont par exemple disponibles à l'annexe B du cahier technique SIA 2040. L'établissement ou la mise à jour du diagramme NSE (voir chapitre 4.5) permet de visualiser de manière impressionnante les effets d'une OéE sur l'impact environnemental. Certains outils de suivi énergétique évaluent la consommation d'énergie primaire et des émissions de CO<sub>2</sub>.

### Pérennisation des résultats

Ce sont surtout les changements de comportement des utilisateurs qui imposent d'adapter certains paramètres des installations. La réalisation de mesures d'optimisation supplémentaires modifie le fonctionnement et l'interdépendance des installations. Afin d'éviter une régression, il est important de rester attentif aux améliorations déjà atteintes dans le cadre de l'OéE. Le suivi énergétique est le meilleur outil à cet effet.

La définition de valeurs d'alarme et la mise en place d'une surveillance de la consommation pour les valeurs énergétiques significatives permettent de pérenniser le bénéfice des mesures. D'expérience, les bénéfices d'une OéE disparaissent dans un laps de temps très court sans consolidation de la réussite. Par conséquent, l'OéE doit être considérée comme un processus continu qui, avec le temps, peut de plus en plus être géré par l'exploitant des installations lui-même.

En plus du suivi énergétique, toutes les modifications apportées aux paramètres des installations doivent être documentées dans le journal. C'est l'unique moyen de savoir à tout moment quelles modifications ont été apportées, de quelle manière, par qui et comment les installations étaient réglées avant l'optimisation de l'exploitation.

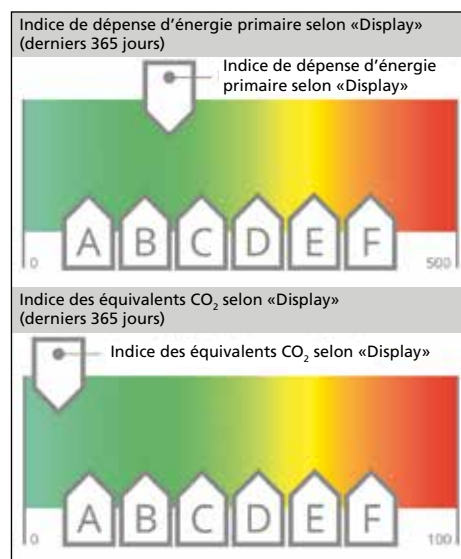


Illustration 4.30:  
Consommation  
d'énergie primaire  
et émissions de CO<sub>2</sub>  
selon «Display» sur  
une période consi-  
dérée. (Source:  
Enastra AG)

**Ernst Sandmeier,  
Zoran Alimpic**

#### 4.11 Rapport

À la fin d'une OéE, un rapport ou une liste des mesures doit être établi à l'attention du maître de l'ouvrage, respectivement du mandant. Selon ce qui a été convenu, les documentations d'OéE doivent être conservées pendant dix ans et présentées aux autorités responsables sur demande [3]. Selon le cahier technique SIA 2048, un rapport doit contenir les éléments suivants:

- Résumé à destination de la direction avec situation initiale, mandat et objectif, résultats et recommandation pour la suite des démarches.
- Situation initiale avec introduction, objectif détaillé et documents de bases, respectivement cadre légal.
- Analyse de l'état actuel par corps de métier et analyse globale. En outre, un rapport devrait être disponible au sujet des contrôles de fonctionnement effectués, tout comme une liste des paramètres des réglages les plus importants de l'état actuel.
- Établissement d'une sauvegarde (rollback) de l'état actuel des systèmes et réglages.
- Liste des mesures de type organisationnelles, personnelles et celles au niveau de la formation.
- Contrôle de résultat par comparaison entre l'état actuel et celui de consigne.
- Recommandation pour la suite des démarches.

Selon le cahier technique SIA 2048, une liste de mesures devrait comporter les éléments suivants:

- Documentation claire de l'état de consigne souhaité en tenant compte des garanties, spécifications de fournisseurs ainsi que des droits ou conditions de garantie.
- Désignation des mesures à court, moyen et plus long terme, y compris une évaluation des priorités.
- Estimation des conséquences (bénéfices, opportunités, risques, coûts) en tenant compte des prix de l'énergie et des tarifs actuels et futurs.
- Responsabilités pour la réalisation y compris responsabilités dans le cadre du Project

Quality Management (PQM), respectivement du Total Quality Management (TQM).

- Effets attendus ou atteints tels qu'économie d'énergie, diminution des coûts, gain de confort, respect de dispositions légales, inspection, etc..
- Coûts pour la réalisation, y compris le calcul de rentabilité (amortissement ou de Net-Present-Value).
- Risques, y compris l'énumération des décisions réservées pour chaque risque (voir aussi l'illustration 4.12), en vue de limiter au maximum l'ampleur des dégâts en cas d'incident. Les décisions réservées sont des démarches planifiées par précaution et qui peuvent être déclenchées lorsqu'un problème particulier survient.

Certains aspects doivent être obligatoirement documentés. Les différentes mesures OéE doivent par exemple être décrites avec précision et leur part respective à l'économie d'énergie être exprimée.

Les mesures OéE qui ont été rejetées et n'ont pour le moment pas été réalisées doivent également être répertoriées. Les raisons pour lesquelles elles ont été rejetées sont à préciser (par exemple, économie insuffisante, coûts de réalisation excessifs, conséquences opérationnelles, manque de personnel spécialisé, etc.).

En outre, il faut garantir que les réglages modifiés (valeurs de consigne, programmes temporels, positions des vannes, etc.) sont reportés dans la documentation d'ouvrage. S'il existe un «jumeau numérique» pour le ou les bâtiments concernés, les mesures (réalisées ou rejetées) doivent y être notées obligatoirement (voir paragraphe «BIM» au chapitre 5.8 Documentation d'ouvrage).

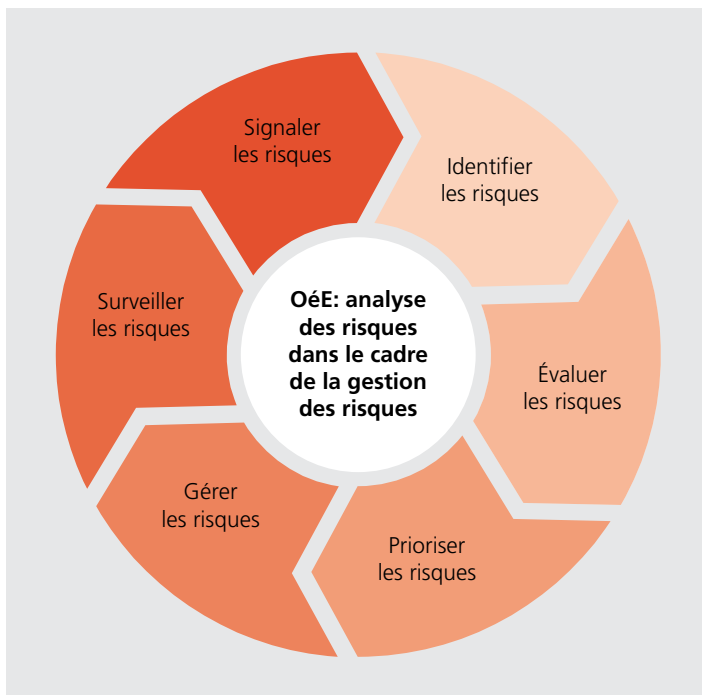
## 4.12 Risques d'exploitation

Zoran Alimpic

Il est important d'introduire une gestion efficace des risques afin de réduire au maximum les risques d'exploitation. Il s'agit d'une approche systématique pour identifier en amont une éventuelle nécessité d'intervenir. La gestion des risques aide les entreprises à atteindre leurs objectifs, ceci sur la base de l'analyse des opportunités et des risques (analyse SWOT). Selon celle-ci, la gestion des risques évalue et estime en continu les événements, les actions et les évolutions qui pourraient empêcher une entreprise d'atteindre ses objectifs et réaliser sa stratégie. La détection précoce de cette nécessité d'intervenir permet de planifier la gestion des risques et saisir les opportunités de manière optimale et efficace. Il ne faut pas sous-estimer la valeur ajoutée économique (terme financier: Economic Value Added, EVA), qui est réalisée à travers la gestion des risques. La prévention des dommages est beaucoup plus économique que leur réparation.

L'analyse des risques est un élément important de la gestion des risques. Elle améliore la base de décision du développeur de projet OéE en identifiant à la fois les aspects de risque influençables et non influençables. L'illustration 4.31 peut servir

*Illustration 4.31: Schéma d'analyse des risques dans le cadre de la gestion des risques d'une OéE.*



de base à l'analyse. Avant de pouvoir identifier les risques, les informations suivantes doivent être connues:

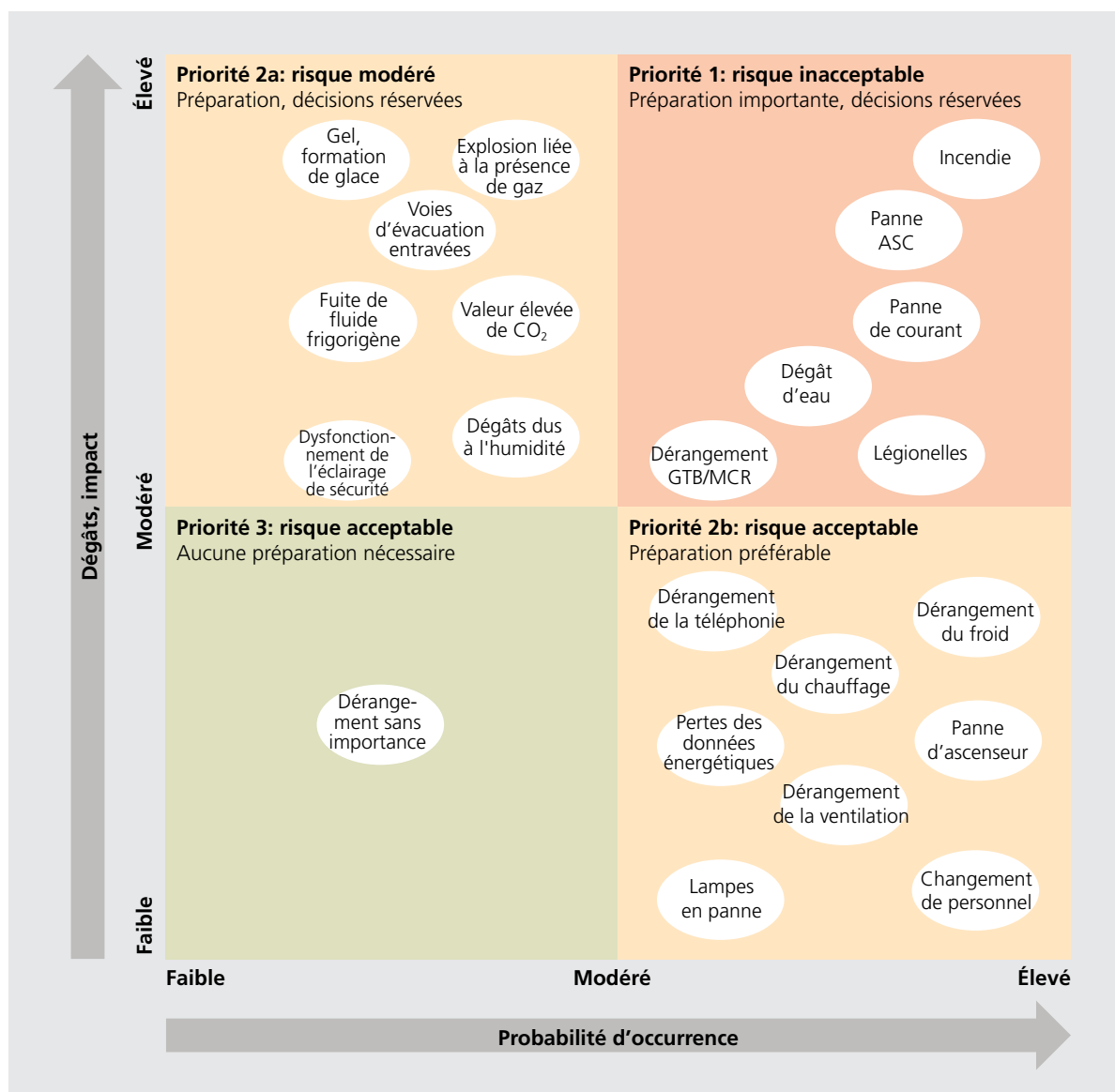
- Un résumé des dispositions légales en matière de sécurité, d'hygiène et de confort
- L'évaluation du comportement des utilisateurs et la comparaison avec les exigences des utilisateurs; l'évaluation systématique des retours, respectivement des réclamations
- La comparaison des exigences des utilisateurs avec le mode de fonctionnement actuel des installations ceci au moyen de valeurs de mesure enregistrées, de valeurs de consigne, de programmes temporels ou de minuteries (jour, nuit, week-ends, jours fériés, vacances, absences générales) et de réglages manuels (si existants)
- L'identification d'éventuelles faiblesses conceptuelles et hydrauliques des installations techniques. Exemples: dysfonctionnements, erreurs de mesures, erreurs de transmission, etc.

Dans le cadre de l'identification, de l'évaluation et de la hiérarchisation des risques, il est important d'analyser les dysfonctionnements possibles. À l'aide d'un diagramme des paramètres «probabilité d'occurrence» et «dégât, impact», les risques sont évalués et hiérarchisés (illustration 4.32).

Bien que les analyses de risques aient fait leurs preuves dans la pratique, elles ne peuvent malheureusement pas offrir une sécurité absolue. Pour cette raison, une brève évaluation des risques doit être effectuée pour chaque mesure OéE. Après avoir déterminé les risques, on est à même de les réduire par des mesures personnelles, techniques ou organisationnelles ou encore de les abaisser à un niveau de risque résiduel économiquement acceptable. Ainsi, la gestion des risques permet un maniement des processus opérationnels tenant compte des aléas. La direction est dès lors libérée de cette problématique et peut s'occuper de manière active de l'avenir de l'entreprise. Ce processus touche toujours des aspects stratégiques, financiers, techniques, structurels, juridiques et économiques.

### 4.13 Bibliographie

- [1] Société suisse des ingénieurs et des architectes: Cahier technique 2048:2015, Optimisation énergétique de l'exploitation, annexe 1, Zurich, 2015
- [2] Société suisse des ingénieurs et des architectes: Cahier technique 2048:2015, Optimisation énergétique de l'exploitation, chapitre 3.3, Zurich, 2015
- [3] Conférence des services cantonaux de l'énergie: Aide à l'application EN-142 «Optimisation énergétique de l'exploitation», édition juin 2017



*Illustration 4.32: Diagramme pour évaluer et prioriser les risques au moyen des paramètres «Probabilité d'occurrence» et «Dégâts, impact». (Source: Zoran Alimpic, Haute école de Lucerne)*



# Communication

## 5.1 Une OéE nécessite davantage que des compétences techniques

**Thomas Lang**

Les spécialistes OéE viennent en général du domaine technique et scientifique, ils sont focalisés sur les aspects techniques de l'optimisation d'exploitation. Ils doivent toutefois être capables de communiquer de manière professionnelle et avec empathie afin de créer les bases d'une collaboration réussie avec les différentes parties prenantes, en particulier lors de projets OéE complexes.

L'utilisation d'un vocabulaire approprié est primordiale pour communiquer avec le mandant, l'exploitant, l'utilisateur et l'utilisateur final. Les relations techniques complexes doivent être expliquées de sorte qu'elles puissent être comprises par l'interlocuteur. En particulier, les termes techniques doivent être utilisés avec parcimonie. Pour une communication directe, il est souvent superflu d'expliquer de manière exhaustive la solution au problème posé, au contraire, une focalisation claire sur les résultats et les effets est de mise.

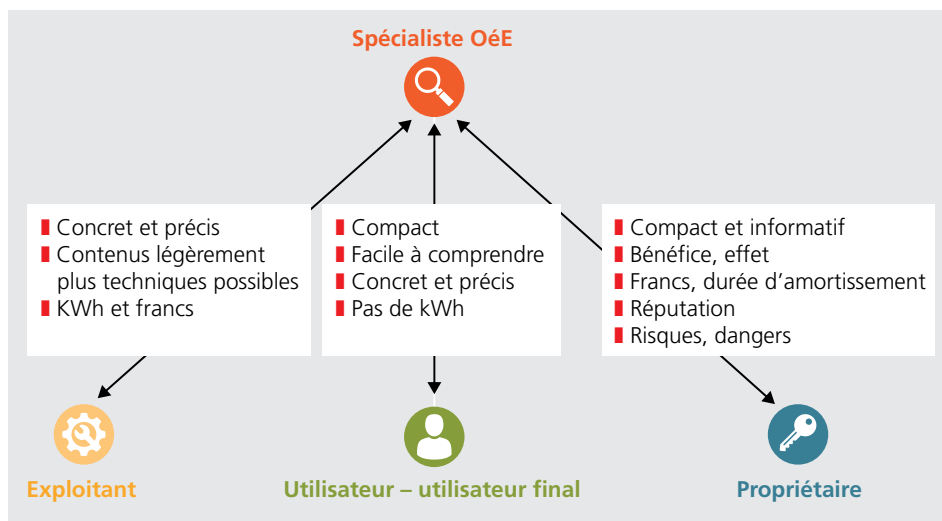
Ainsi très peu de responsables des finances, côté mandant, comprennent ce que signifie une économie de 25 MWh. Par contre, ils peuvent situer et juger d'une économie de coûts de 2500 Fr.

Les optimisations énergétiques de l'exploitation doivent être communiquées et accompagnées avec un degré élevé d'empathie, car elles touchent toujours des personnes, leur point de vue et leur comportement. Cela vaut tant pour la collaboration avec les spécialistes de l'exploitant (responsable technique, concierge), que pour la motivation des utilisateurs et utilisateurs finaux. Si certains comportements doivent être changés et s'il n'est pas possible de les imposer (instructions impossibles de la part de subordonnés, sanctions, etc.), l'empathie est un facteur de réussite central des mesures OéE.

### Communication avec le propriétaire

Il arrive certes, que des propriétaires mandent une OéE pour des raisons intrinsèques, c'est-à-dire par conviction profonde. Cependant, la plupart des propriétaires ont des motifs économiques:

- Économiser des coûts, atteindre un meilleur rendement, bénéficier d'une durée courte d'amortissement.
- Renforcer la réputation.
- Répondre à des exigences légales.



*Illustration 5.1: Communication entre le spécialiste OéE et les différentes parties prenantes.*

La communication doit en tenir compte (voir aussi chapitre 5.5 Argumentation). Pas conséquent:

- Les économies de coûts et la durée d’amortissement sont importants.
- L’utilité et l’effet se trouvent mis au premier plan.
- Des résumés succincts relatifs à la gestion sont plus utiles que de longs exposés techniques.

### Communication avec l’exploitant

Sur le plan technique, l’exploitant (conciergerie, responsable technique) est la personne la plus proche du spécialiste O&E. Ce sont souvent des personnes issues elles aussi d’un domaine technique et manuel. Elles comprennent les termes techniques jusqu’à un certain point. Pour la communication et la collaboration avec l’exploitant, les points suivants sont à observer:

- Poser des questions au lieu de démontrer son savoir.
- Écouter au lieu de persuader.
- Comprendre au lieu d’expliquer.
- Communiquer ouvertement.

Tableau 5.1:  
Différents profils  
d’exploitants.

Type	Description	À observer lors de la communication
Le pionnier	Il apporte une connaissance approfondie des installations et une compétence technique avérée pour une O&E. Les pionniers pourraient largement optimiser eux-mêmes le bâtiment – mais ils manquent de temps et de ressources humaines.	Le spécialiste O&E peut communiquer avec le «pionnier» de «spécialiste à spécialiste». Une intégration directe dans le projet O&E et un échange intensif d’informations et d’idées sont nécessaires.
L’actif	Il connaît les installations et sait où se trouvent les plus grandes «fuites d’énergie». Cependant, il n’a pas les connaissances (et souvent pas le temps) pour réaliser des mesures d’optimisation.	Le spécialiste O&E et «l’actif» se complètent de manière optimale. L’estime mutuelle améliore le résultat. Exposer de manière claire qu’un certain transfert de savoir est possible et où se situent les limites (un projet O&E n’est pas un mandat de formation).
L’approbateur	A une attitude très positive, il est d’accord avec tout.	Clarifier le contexte dans un dialogue (intensif). Est-il introverti ou dépassé? Y a-t-il des craintes, des barrières de contenu ou de langue? Il est possible de vérifier ce point à travers une reformulation de la part de l’exploitant des informations essentielles données par le spécialiste O&E. Être attentif à une communication facilement compréhensible.
Le silencieux	Au début, il attend de voir et s’implique à peine dans le projet. Tous les types peuvent se cacher derrière les silencieux.	
L’inactif	Il ne s’intéresse pas à l’O&E, le projet lui a été imposé.	Communiquer de manière claire que le projet sera mis en œuvre en commun et que le spécialiste O&E n’impliquera l’exploitant que dans les travaux où sa participation est essentielle. Exiger une participation sérieuse dans de tels cas.
Le grognon	Il affiche une attitude de base négative et dans les cas extrêmes, torpille la mise en œuvre.	Chercher le dialogue. Dans la plupart des cas, le soutien du mandant (supérieur) est requis.

La modalité de ces lignes directrices varie en fonction du «profil d’exploitant» (voir tableau 5.1).

### Relations avec les exploitants très motivés

Les exploitants très motivés sont dans le cas idéal des multiplicateurs pour une action réussie et donc les interlocuteurs centraux pour le spécialiste O&E. En même temps, la limite entre une grande motivation et une motivation excessive est ténue. Certaines propositions de la part d’exploitants «très motivés» peuvent aller trop loin – par exemple, réduire la température ambiante du bureau à 19 °C, «parce qu’on travaille mieux à des températures plus fraîches». Il n’est pas judicieux de rejeter de telles propositions de manière abrupte, il faut en prendre note sérieusement, les vérifier et les intégrer dans le projet sous une forme adéquate.

### Communication avec les utilisateurs et les utilisateurs finaux

Les utilisateurs finaux représentent le plus grand défi sur le plan de la communi-



tion, car en général les spécialistes OéE ne communiquent pas directement avec eux. C'est en principe l'exploitant qui assume cette tâche. Il faut donc l'accompagner de manière ciblée, en lui fournissant des messages simples, clairs et précis qu'il devra faire passer.

En outre, les utilisateurs et les utilisateurs finaux viennent d'horizons très différents. Les utilisateurs finaux ont en général peu de connaissances techniques et ont besoin d'informations et d'instructions faciles à comprendre. Néanmoins, il peut arriver que certaines personnes soient plus averties dans le domaine de l'OéE que le spécialiste OéE lui-même. Pour communiquer, il faut garder ce point à l'esprit.

De plus amples informations sur la communication avec les utilisateurs sont disponibles au chapitre 5.5.

## 5.2 Motivation

Sonder la motivation permet de comprendre ce qui pourra inciter les gens à l'action. Motiver toutes les personnes impliquées dans une OéE sert à les focaliser sur le même objectif, à savoir la réduction de la consommation d'énergie. Afin de réussir à motiver les gens pour un projet OéE, le contexte doit être propice: appréciation mutuelle, relations détendues, sécurité et politique d'information ouverte sont nécessaires. Si ces facteurs sont acquis, les chances de pouvoir motiver les personnes impliquées sont augmentées.

Toutefois, il n'est pas possible de motiver à un même niveau toutes les parties prenantes (propriétaire, exploitant et utilisateurs), un point à garder à l'esprit (voir tableau 5.2). Dans la communication avec le groupe cible, l'accent est mis sur ses objectifs tout en étant conscient des obstacles et en ayant à disposition l'argumentation appropriée.

En définitive, c'est le principe de la récompense qui s'applique. Une incitation est indispensable pour entretenir la motivation, qu'elle soit sous forme de récompense matérielle ou immatérielle, allant d'un «simple» remerciement avec des fleurs à un bonus financier.

### Communication lors de projets du secteur public

Un projet d'optimisation réussi économise des quantités considérables d'énergie, de CO<sub>2</sub>, d'eau et d'argent. Pour les projets du secteur public, c'est en fin de compte la

*Tableau 5.2: Motivations et obstacles.*

	Motivation – objectifs sur lesquels se focaliser	Obstacles
<b>Propriétaire</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Économiser des coûts</li> <li>• Éviter ou reporter des investissements</li> <li>• Prolonger la durée de vie des installations</li> <li>• Améliorer l'image</li> <li>• Réduire les gaz à effet de serre, préserver l'environnement</li> <li>• Remplir les exigences légales (grands consommateurs)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Effort, respectivement temps utilisé à l'interne</li> <li>• Coûts externes (spécialiste OéE)</li> <li>• Trop de dispositions légales</li> <li>• Il n'est pas clair ce qu'est une OéE et ce qu'elle signifie</li> <li>• Peur d'éventuels coûts induits</li> </ul>
<b>Exploitant</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Coûts plus bas d'entretien et d'exploitation</li> <li>• Faire le suivi d'un bâtiment économique et efficace</li> <li>• Améliorer l'image (administrations, entreprises FM)</li> <li>• Réduire les gaz à effet de serre, préserver l'environnement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peur du travail supplémentaire</li> <li>• Absence de récompense (pas de confirmation immédiate)</li> </ul>
<b>Utilisateurs, Utilisateur final</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Meilleur confort</li> <li>• Charges plus basses</li> <li>• Réduire les gaz à effet de serre, préserver l'environnement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peur des altérations du confort</li> </ul>

collectivité qui en profite. Ainsi, le projet OéE représente pour le propriétaire une excellente occasion pour un travail ciblé de relations publiques. Lors de contributions dans les médias locaux ou régionaux, de visites des installations et de présentation de mesures via les médias sociaux et en

ligne, le spécialiste OéE soutient son client pour les aspects techniques liés au projet. Cela permet de se profiler positivement auprès d'un large public et au niveau politique et de créer ainsi une excellente situation de départ pour d'autres projets.

## De quelle manière les comportements se modifient

Chaque projet OéE implique que le propriétaire, l'exploitant, l'utilisateur et l'utilisateur final modifient leur comportement d'une manière ou d'une autre – que ce soit dans le travail quotidien ou dans la gestion des systèmes.

Exemple: le débit d'eau, la température et la durée d'une douche influencent la consommation d'énergie pour celle-ci. Il n'est cependant pas possible de simplement limiter la durée des douches ou de forcer tous les locataires à utiliser des pommeaux de douche économes de classe A dans les appartements locatifs. Si l'objectif est de réduire la consommation d'énergie pour la douche, le groupe cible doit être amené à adopter un nouveau comportement – durée de douche plus courte ou débit d'eau inférieur pour le pommeau de douche.

Un changement de comportement réussi est basé sur une procédure étape par étape (basée sur le modèle transthéorique de DiClemente et Prochaska, voir illustration).

### 1. Prise de conscience

La personne a-t-elle reconnu le problème en tant que tel? (Sensibilisation, niveau 1)

### 2. Préparation

La personne admet-elle que quelque chose doit changer? (Sensibilisation, niveau 2)

### 3. Engagement

La personne reconnaît-elle la nécessité d'agir? (Sensibilisation, niveau 3)

### 4. Action

De quoi la personne a-t-elle besoin pour agir? (Simplifier l'action)

### 5. Maintien

De quoi la personne a-t-elle besoin pour répéter son action? (Confirmation, récompense)

Rares sont les projets OéE dans lesquels ce processus de changement comportemental peut être achevé, ceci par manque de moyens financiers et de temps. Le concept aide néanmoins le spécialiste OéE à classer toutes les activités et à les optimiser quant à leur effet:

■ Mesures de sensibilisation exclusivement et de niveau 1, c'est-à-dire par l'intermédiaire de fiches, courriels et séances d'information. Ces mesures ne déclenchent en général pas d'action directe.

■ Même si une personne dispose de conditions optimales pour le comportement souhaité, elle n'agira pas tant qu'elle n'est pas d'accord avec l'objectif ou ne ressent pas le besoin d'agir elle-même.

## La pression ne mène pas toujours au but

Il est plus simple que le propriétaire en tant que mandataire de l'OéE, édicte des prescriptions aux utilisatrices et utilisateurs finaux – par exemple, la cheffe d'entreprise dans un bâtiment à usage propre. Il est ainsi possible de mettre en œuvre les étapes «préparation» et «engagement» par une certaine «contrainte» – à savoir des instructions ou encore des solutions techniques.

Exemple: compléter les douches d'installations sportives avec des systèmes de distribution d'eau payante (monnayeurs), en étant conscient des critiques ultérieures des utilisateurs quant à cette mesure.

Il faut avoir en tête que la coercition implique un contrôle. S'il y a des failles, les instructions ne sont souvent pas suivies. À long terme, il est donc préférable que les utilisateurs acceptent la demande de changement et reconnaissent leur propre besoin d'action – et ainsi agissent de leur propre initiative.

### 5.3 Gestion des résistances et conflits

Même les professionnels expérimentés sont souvent impuissants face à des résistances aux projets OéE. Quels sont les arguments contre une plus grande efficacité énergétique et des coûts énergétiques plus bas? Pourquoi certaines personnes s'y opposent-elles?

Les résistances à une OéE n'ont rien d'exceptionnel. Elles sont un défi pour le spécialiste OéE tout en ayant des côtés positifs. Dans tous les cas, se mettre à la place de l'autre est utile. Un projet OéE apporte souvent son lot de changements pour les personnes concernées. Pour le service technique, car certains travaux doivent être effectués de manière différente ou plus suivie. Pour les utilisateurs et les utilisateurs finaux, car un comportement différent est exigé ou le confort modifié. La liberté individuelle en pâtit. Elle est élargie ou restreinte – et cela peut provoquer des peurs ou de l'insécurité.

#### Analyser les résistances

La résistance se manifeste sous deux formes: ouverte ou masquée.

■ **Résistance ouverte:** une personne exprime directement une critique et peut être identifiée. La critique a une raison rationnelle, elle est souvent constructive.

**Exemple:** depuis que la fenêtre des toilettes ne doit plus être ouverte en imposte, la qualité de l'air est mauvaise – ça sent mauvais. Dans ce cas, il est judicieux de prendre note de la résistance ouverte et d'associer la personne de manière active. Cela permet de trouver une bonne solution en commun.

■ **Résistance masquée:** elle n'est souvent pas détectée de prime abord et elle est généralement destructive. Beaucoup de personnes exercent de la résistance à leur insu. La résistance masquée se manifeste par des «blocages éphémères». Ce sont des excuses pour cacher consciemment ou inconsciemment la résistance contre le projet OéE.

**Exemple:** un collaborateur ne participe pas à une réunion informant sur le com-

portement à adopter en été. Ensuite, pendant la pause, il déplore qu'il fasse trop chaud dans les bureaux. Interpelé sur ce point, il s'excuse de n'avoir pas reporté la réunion dans son agenda par inadvertance. La bonne gestion de ce genre de résistance cachée est complexe. D'une part, une politique d'information ouverte, claire et transparente est favorable. D'autre part, des sondages et des retours aident à se faire une image factuelle de la situation.

#### Comprendre le contexte

Les résistances ont deux causes différentes:

■ **Les causes factuelles** sont la plupart du temps compréhensibles et vérifiables. Les arguments reposent sur des faits objectifs et des aspects logiques d'ordre économique, technique ou légal.

**Exemple:** réduire la température ambiante d'un bureau à 18°C signifie qu'elle se situe en dehors de la zone de confort définie par l'ordonnance relative à la loi sur le travail. La résistance à cette mesure est donc objectivement justifiée.

■ **Les raisons émotionnelles** ont généralement une cause plus profonde qui réside dans la situation personnelle de la personne. Cela inclut une multitude de peurs: peur d'un contrôle accru, de moins de confort, d'efforts supplémentaires, de nouveaux processus et procédures, etc. Les résistances émotionnelles sont aussi souvent provoquées par des intérêts particuliers, le sentiment d'un travail en cours critiqué de manière injuste ou le sentiment d'un paternalisme (réactance comme résistance aux restrictions).

*Illustration 5.2: Les résistances se manifestent de manière ouverte ou masquée et doivent être abordées différemment.*



De par sa formation technique, le spécialiste OéE a tendance à comprendre chaque argument de manière factuelle et vouloir le réfuter sur le même plan. Mais les meilleurs arguments logiques échouent à surmonter des résistances émotionnelles. La peur du vide fonctionne de manière semblable. A titre d'exemple, une personne visitant la tour Eiffel et souffrant de la peur du vide ne peut être «guérie» par l'argument que «la tour existe depuis 1889 et que du point de vue statique, la probabilité qu'elle s'écroule précisément maintenant est très proche de zéro». Il est plus judicieux de parler avec empathie, patience et attention avec la personne et de trouver une solution pour «revenir sur la terre ferme» ensemble le plus sereinement possible.

#### Conseils pour la gestion des résistances

- Communiquer ouvertement
- Écouter au lieu d'argumenter
- Approfondir au lieu de cadrer
- Comprendre au lieu d'expliquer
- Mettre en lumière les conflits
- Montrer de l'intérêt pour la personne et le point critiqué
- Sonder les causes
- Parler vrai (sans banalisation ni dramatisation)

#### Recours aux spécialistes OéE externes

L'équipe technique de l'exploitant peut interpréter l'implication d'un spécialiste OéE externe comme une menace ou une mesure de défiance de la part de la direction. Afin que ce conflit potentiel menaçant

pour un projet OéE ne puisse même pas naître, il est indispensable que le mandant et le spécialiste soulèvent et clarifient ce point en donnant les éclaircissements suivants aux personnes impliquées:

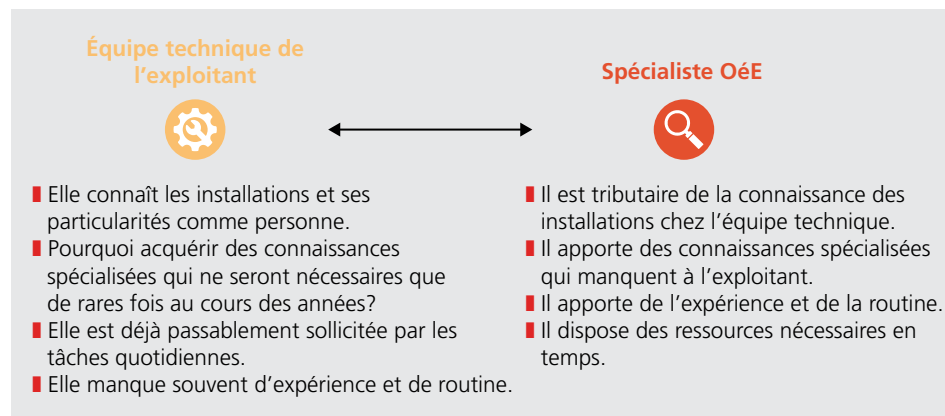
- Même avec un suivi parfait des bâtiments et des installations, ceux-ci recèlent des potentiels d'économies inexploités et rentables.
- Il est plus efficace de chercher à l'externe les connaissances très spécialisées nécessaires dans une utilisation très ponctuelle.
- L'investissement en temps nécessaire à fournir par l'équipe technique interne et demandé par le spécialiste OéE reste dans un cadre raisonnable.

#### Résistance des utilisateurs et utilisateurs finaux

Les résistances apparaissent si les utilisateurs et utilisateurs finaux sont directement touchés par un projet OéE. L'arrêt de l'installation de ventilation en dehors des heures de travail de l'entreprise est à peine remarqué. Par contre, les collaborateurs ressentent très directement si la température ambiante est baissée de 22 °C à 20 °C dans les bureaux pendant la journée.

Donc, si la première mesure d'optimisation consiste à baisser la température ambiante, le risque de voir apparaître de la résistance interne vis-à-vis de l'OéE est élevé. Lors de la priorisation des mesures (voir chapitre 4, tableau 4.2), il est par conséquent favorable d'analyser aussi leurs impacts sur le confort des utilisateurs finaux.

Illustration 5.3:  
Les raisons pour lesquelles les compétences des spécialistes internes et celles des spécialistes OéE externes se complètent de manière optimale.



Si la température ambiante doit être réduite, cela vaut la peine d'évaluer une réalisation différée en deuxième phase. Cela signifie certes de renoncer à une partie des gains d'efficacité pendant la première phase. Par contre, les mesures ont de bonnes chances d'être mieux acceptées lors de la deuxième phase, car le projet OéE est à ce moment-là déjà bien établi à l'interne. Une solution alternative est de baisser dans un premier temps la température de 1 °C seulement à 21 °C.

Débattre ou non de tels points en présence des collaborateurs ne fait pas l'unanimité parmi les spécialistes OéE. Par contre, ils estiment tous que les changements «résentis» sont à réaliser lentement et progressivement.

#### Côtés positifs des résistances

Les résistances à un projet OéE occupent d'une manière ou d'une autre des ressources. Il est d'autant plus important de bien profiter des opportunités qu'elles offrent, car elles sont souvent un indicateur précieux de possibles améliorations. Les résistances peuvent:

- Indiquer un problème inconnu.
- Mettre à jour un problème ignoré même par les utilisateurs, utilisateurs finaux ou le personnel d'exploitation.
- Être une indication que le projet OéE avance trop vite.
- Fournir de nouvelles idées pour les mesures OéE ou leur réalisation.

Les résistances, surmontées de manière positive, peuvent ainsi conduire à une meilleure solution.

#### Surmonter les résistances

Les différentes résistances doivent être notées et classées une à une.

- Forme: résistance ouverte ou masquée
- Cause: factuelle ou émotionnelle
- Maîtrise: peut/doit être résolue ou peut être ignorée

La documentation écrite des résistances permet d'analyser la situation avec le mandant pour ensuite planifier et réaliser une stratégie à même de les surmonter.

#### Reconnaître les limites

Si les résistances s'accroissent au cours du projet OéE et que celui-ci devient de toute évidence la cible de défoulements issus de problèmes internes, le spécialiste OéE doit discuter de la situation avec le mandant. Il n'appartient bien entendu pas au spécialiste OéE de remédier aux manques accumulés dans la culture (de l'entreprise). Dans le pire des cas, le projet doit être suspendu jusqu'à ce que les problèmes internes soient résolus.

#### Répercussion des coûts de l'OéE sur les charges des locataires

La réduction des coûts d'énergie et d'eau représente un bénéfice direct de l'OéE. Les locataires profitent directement de charges moins élevées. Si le propriétaire et l'utilisateur (locataire) n'appartiennent pas à la même organisation sur le plan légal, la question se pose de savoir qui paie les coûts.

■ **Point de vue des locataires:** les travaux OéE sont des travaux d'entretien. Ils sont à la charge du propriétaire, ne sont pas éligibles comme charge et ne peuvent donc pas être répercutés sur les locataires.

■ **Point de vue du bailleur:** la réalisation des mesures OéE réduit les charges et profite directement aux locataires. Par conséquent et dans le sens d'une maintenance, au minimum les coûts des travaux peuvent être transférés aux locataires. Certaines mesures OéE peuvent éventuellement être réalisées «sans incidence sur les coûts» dans le cadre des travaux de service réguliers (certains abonnements de services incluent la réalisation de mesures d'efficacité énergétique).

Comme expliqué au chapitre 1.8, la situation juridique (état octobre 2019) n'est pas claire. Pour cette raison, il est judicieux de clarifier ce point avec le mandataire (propriétaire) avant le début des travaux, s'il ne veut pas prendre en charge lui-même les coûts d'un projet OéE.

Matthias Balmer

## 5.4 Prospection

Avant de commencer une prospection, le spécialiste OéE doit garder à l'esprit que le coût d'un projet devrait toujours être dans un rapport raisonnable avec la réduction possible des coûts énergétiques. Plus les coûts énergétiques et le degré de technicité de l'objet sont élevés, plus le potentiel est grand. L'argumentation de la prospection varie aussi en fonction du motif déclencheur d'une OéE. Ci-après quelques réflexions à ce sujet:

■ La question d'une OéE peut se poser après la mise en service de nouvelles constructions avec des installations techniques plutôt complexes ou encore après des rénovations importantes. Une probabilité existe pour ces objets qu'un écart de performance apparaisse entre les valeurs de planification et les valeurs d'exploitation, en raison de dysfonctionnements ou de défauts non détectés. Si de tels défauts sont détectés au cours de l'OéE, ils doivent être éliminés sans délai par le fournisseur de l'installation. L'OéE ne peut se poursuivre qu'après élimination des défauts. Une autre raison possible pour l'écart de performance est une utilisation différente de celle initialement prévue. L'OéE doit

alors englober l'ajustement des valeurs de consigne et des programmes temporels à l'utilisation effective.

■ Un projet OéE est intéressant pour des bâtiments existants avec une consommation d'énergie élevée ou encore avec une technologie complexe.

■ L'OéE en tant qu'élément du processus d'exploitation peut faire partie intégrante du contrat de Facility-Management dans des installations exploitées professionnellement. Dans ce cas, une attention toute particulière doit être accordée au contrôle des résultats, respectivement au suivi énergétique.

■ OéE et grand portefeuille: il est judicieux de classer les objets d'abord dans différentes sous-catégories. Voici quelques propositions: objets avec une consommation spécifique effective élevée, objets avec une consommation élevée comparée aux années précédentes, objets récemment assainis, transformés ou réaffectés, objets dont l'automatisation du bâtiment ou un système de distribution, respectivement d'émission a été remplacé, objets dont l'enveloppe du bâtiment a été rénovée.



Illustration 5.4:  
Modèle de prospection en 5 étapes.

La prospection à chaud B2B est particulièrement adaptée à l'acquisition de clients OéE. Ci-après l'explication des termes: B2B (Business to Business) s'adresse aux entreprises, B2C (Business-to-Consumer) s'adresse aux particuliers. Les clients B2C gèrent en général des coûts énergétiques de moins de 50 000 Fr. et n'entrent guère en ligne de compte pour une OéE.

Quelle est la différence entre une prospection à chaud et une prospection à froid? La prospection à froid consiste à contacter des clients que l'on n'a ni rencontrés ni pratiqués jusqu'alors. Étant donné qu'une OéE implique une relation de confiance durable et solide, il est recommandé de prospecter à chaud. Concrètement, la prospection se fait donc auprès de contacts qui existent déjà. En ce qui concerne les nouveaux clients, il est judicieux d'établir une relation avant la prospection proprement dite. Une prospection efficace se déroule en général en cinq étapes:

1. Identifier les adresses
2. Filtrer les contacts
3. Prendre contact
4. Négocier
5. Conseiller le client et acquérir par la suite des mandats

### Identifier les adresses

La stratégie énergétique 2050 de la Confédération prévoit de passer par étapes des subventions aux incitations à des mesures énergétiques. Cela signifie que les entreprises à forte consommation d'énergie sont plus souvent contraintes de prendre des mesures d'optimisation. Très probablement, ces entreprises s'adressent aux spécialistes OéE via leur propre réseau de contacts. Si les spécialistes adéquats font défaut dans leur réseau, ils font souvent des recherches par Internet, et peuvent profiter également des événements ciblés du secteur énergétique ou des installations techniques du bâtiment.

Une présence professionnelle en ligne qui inspire confiance est indispensable pour acquérir de nouveaux clients. La clientèle potentielle évolue dans un environnement professionnel et s'attend à une présence professionnelle.

Dans le domaine de la technique du bâtiment, le réseautage est un moyen efficace de développer de nouveaux contacts avec des clients. D'une part, des représentants d'un maître d'ouvrage à la recherche de spécialistes sont présents aux événements susmentionnés. D'autre part, des représentants d'éventuels multiplicateurs participent également à de tels événements. Il s'agit, entre autres de:

- Association energo (Centre de compétences pour l'efficacité énergétique dans le bâtiment)
- Services cantonaux de l'énergie ou services cantonaux de conseil en énergie
- Services fédéraux de l'énergie
- Architectes

Un contact direct avec des clients potentiels peut être établi via les multiplicateurs. La démarche via des événements peut prendre quelques mois, mais elle couvre un public plus large, elle est plus personnelle et donc plus efficace que les contacts par Internet.

### Filtrer les contacts

Il est primordial de savoir si les clients potentiels ont d'ores et déjà un intérêt pour les OéE ou même s'ils sont en train de la planifier. D'expérience, il peut s'écouler des mois entre le besoin d'effectuer une OéE et le lancement du projet. Lors de la prospection, on tombe régulièrement sur des personnes qui s'intéressent à une OéE mais n'ont pas l'intention d'en faire une. Il y a également des personnes qui veulent s'informer pour ensuite tenter d'effectuer une OéE de leur propre initiative. Ces contacts sont certainement à mettre de côté.

Une priorisation accompagne ce tri. Le tri peut se faire par ordre de priorité allant de 1 à 3 (de très élevée à basse).

### Prendre contact

Le premier contact doit respecter les niveaux hiérarchiques. Si l'interlocuteur est un décideur, alors c'est un/e représentant/e de la direction qui devrait participer à la séance, éventuellement accompagné par le spécialiste OéE. Si le premier contact se



fait avec l'exploitant des installations, le spécialiste OéE peut s'en charger seul.

Le premier contact se fait idéalement sous forme de séance chez le client potentiel, éventuellement combinée avec une visite des installations. L'objectif est de clarifier les besoins concrets. Il est plus avantageux de s'intéresser de manière ciblée aux problèmes de l'interlocuteur plutôt que mettre continuellement en avant ses propres prestations.

Il arrive souvent que le client n'ait pas une vision claire du déroulement concret d'une OéE. Ainsi, le premier entretien doit servir d'aide à la décision et à la clarification des besoins du client grâce à l'expertise OéE du spécialiste. Ce processus demande de la patience, mais offre une opportunité de renforcer l'empathie pour l'interlocuteur et constitue la base d'une future collaboration réussie. Une offre est à élaborer uniquement à la condition que le client parvienne à formuler précisément ses besoins. L'offre doit être élaborée sur mesure. Il est fortement déconseillé d'élaborer une offre concrète après le premier contact.



### Négociation

Si les étapes 2 et 3 se sont bien passées, il s'agit de se mettre d'accord sur les conditions d'un contrat OéE lors d'une séance de négociation. C'est la clé de tout mandat.

Un «Elevator Pitch» sur le contenu de l'offre résume les résultats de l'analyse des besoins effectuée à l'étape 3. Le futur client est ensuite invité à s'exprimer sur le contenu de l'offre. Une fois clarifiés les aspects liés au contenu, la partie commerciale est aussi commentée de manière succincte et informative. La négociation spécifique orientée client montre en définitive si les efforts en amont ont porté leurs fruits sous la forme d'un mandat OéE.

### Conseiller le client et acquérir ensuite des mandats

Les prestations de service sur plusieurs années telles qu'une OéE sont parfaitement adaptées pour établir une relation de confiance solide avec le client. Une OéE réussie, avec un accompagnement de l'exploitant des installations, renforce la relation. Dans le cas optimal, le spécialiste OéE peut devenir le conseiller énergétique du client. Après des années d'OéE, si des rénovations énergétiques ou le renouvellement des installations sont à l'ordre du jour, le spécialiste OéE, de par sa connaissance approfondie du client, des utilisateurs et des installations, est le conseiller parfait.





## 5.5 Argumentation

### Le «pourquoi» d'une OéE

Convaincre un décideur issu du secteur financier au moyen de kilowattheures économisés s'avère souvent beaucoup plus ardu que de lui parler de rendement. De son point de vue, l'OéE doit être un «investissement vert» rentable (voir chapitre 4.9) à très faible risque. Et tant mieux s'il renforce l'image de l'entreprise et contribue activement à l'environnement! Pour trouver la bonne argumentation en faveur d'une OéE, il faut s'aligner sur son interlocuteur. Une comparaison avec des domaines connus peut souvent aider. Il est par exemple évident qu'une voiture nécessite un service professionnel régulier afin de préserver sa valeur et d'assurer sa conformité légale. Non seulement les pièces d'usure sont remplacées dans le cadre d'une maintenance, mais le moteur bénéficie d'un réglage. Cela garantit son efficacité et la conformité des émissions. Pourquoi les installations techniques du bâtiment, beaucoup plus coûteuses, ne devraient-elles pas être réglées aussi de manière optimale par un spécialiste? Cette mesure permet en outre de tirer un profit maximal des investissements effectués et de maintenir bas les coûts d'exploitation. Souvent, le propriétaire ne connaît pas l'efficacité énergétique de ses installations. Dans le cadre de l'OéE, ses forces et ses faiblesses peuvent être visualisées au moyen d'un benchmarking comparant à des labels ou des bâtiments similaires. Si les installations sont énergétiquement au meilleur niveau après l'optimisation, le propriétaire peut le médiatiser comme contribution active à l'engagement environnemental avec un impact d'image.

### Le «comment» d'une OéE

Le propriétaire des installations n'est souvent pas prêt à s'engager dans une OéE complète. Cela n'a pas d'importance, car elle peut également être proposée par étapes. Ainsi, le client peut se convaincre de la qualité des prestations effectuées et du concept proposé. Voici un éventuel échelonnement:

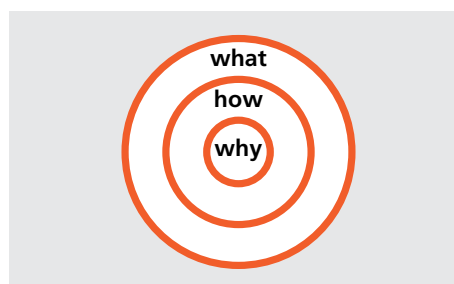
1. Contrôle énergétique simple après une seule visite des installations avec l'exploitant
2. Réalisation de mesures évidentes
3. Mise en place d'un monitoring
4. Mise en place d'un suivi énergétique
5. Transition à une OéE

### Le «quoi» d'une OéE

Les propriétaires sont souvent d'avis que les nouvelles installations techniques ne nécessitent pas d'optimisation dans l'immediat. Or c'est à ce moment-là justement qu'une OéE est opportune (voir aussi l'exemple 6.1).

Quelques cas de figure justifiant une OéE :

- Les valeurs de planification ne correspondent pas aux valeurs de fonctionnement effectives. → Les installations doivent être réglées par rapport aux utilisations effectives.
- La mise en service des nouvelles installations s'est faite en fonction d'un seul point de fonctionnement. → Elles doivent être réglées pour un fonctionnement optimal durant toute l'année.
- L'exploitant doit se familiariser avec les nouvelles installations, il est difficile de les faire fonctionner de manière optimale parallèlement aux autres tâches quotidiennes pour satisfaire les besoins des utilisateurs. → Il a besoin d'un support professionnel spécifique et adapté aux installations.
- Les installations comportent des défauts «cachés», imperceptibles au quotidien mais qui peuvent accroître les coûts énergétiques. L'investissement ne donnera pas les résultats escomptés. → Il pourrait s'agir, par exemple, d'un degré de couverture moindre que prévu dans l'utilisation de rejets thermiques. → La comparaison des valeurs effectives avec les valeurs de planification est utile à ce titre.



*Illustration 5.5: Pourquoi? Comment? Quoi? La triologie d'argumentation de Steve Jobs.*

## 5.6 Communication et instructions aux utilisateurs

A côté des méthodes stratégiques et procédurales pour la réalisation technique des mesures, l'aspect organisationnel contribue également de manière significative au succès d'une OéE. Ce chapitre aborde en particulier l'impact des utilisateurs. Il s'agit de savoir comment influencer concrètement le comportement des utilisateurs à travers la communication et l'instruction pour qu'il concorde avec les objectifs de l'OéE.

Il faut distinguer ici les utilisateurs et les utilisateurs finaux. L'utilisateur final est l'acteur occupant lui-même les locaux. Ce n'est pas toujours le cas de l'utilisateur, par exemple, quand un gérant d'un centre d'affaires (= utilisateur) loue un immeuble de bureaux à un propriétaire pour en sous-louer une partie à différentes entreprises (= utilisateurs finaux).

*Illustration 5.6: Acteurs concernés pour l'intégration des utilisateurs dans une OéE. Une distinction est faite entre les bâtiments à usage propre et ceux utilisés par des tiers. Les étapes de communication sont ici simplifiées, elles sont commentées plus en détail pour chaque cas dans le texte.*

### Il y a utilisateur et utilisateur

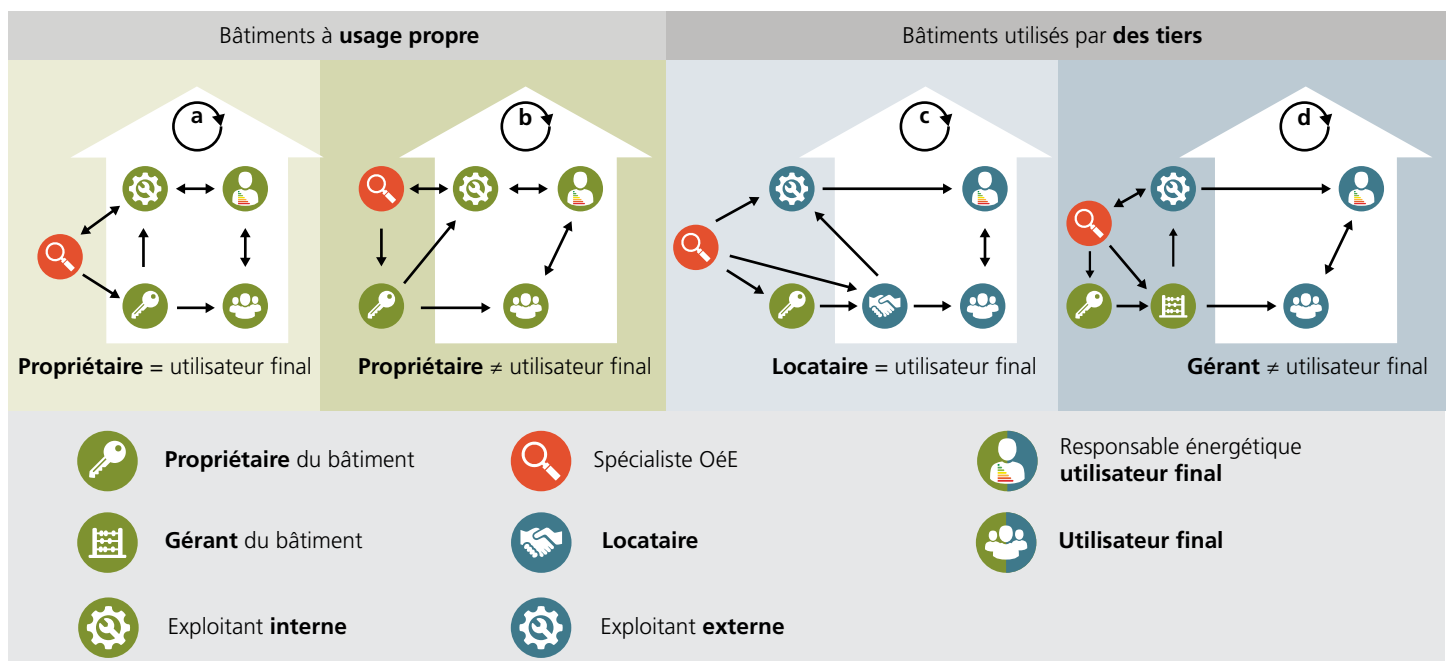
Intégrer les utilisateurs finaux dans une OéE implique d'aller à leur rencontre, de les informer, de les instruire et de les motiver. Le chapitre 4.9.3 du cahier technique SIA 2048 donne quelques indications à ce sujet. Une distinction fondamentale est faite entre les bâtiments utilisés par le pro-

priétaire et ceux utilisés par des tiers. Ci-dessous sont décrites quatre constellations fréquemment rencontrées entre propriétaires d'immeubles et utilisateurs ainsi que les parties prenantes correspondantes (illustration 5.6). Elles sont données à titre d'exemples et ne couvrent pas toutes les combinaisons possibles. Par «bâtiment à usage propre» nous entendons des bâtiments utilisés par le propriétaire en tant que personne juridique, soit comme utilisateur final soit comme utilisateur du bâtiment comme succursale.

- a) Bâtiments à usage propre, Propriétaire = utilisateur final
- b) Bâtiments à usage propre, Propriétaire ≠ utilisateur final
- c) Bâtiments utilisés par des tiers, Locataire = utilisateur final
- d) Bâtiments utilisés par des tiers, Gérant ≠ utilisateur final

Le propriétaire peut utiliser son bâtiment lui-même, par exemple, comme siège social de l'entreprise (a) ou le sous-louer à l'interne de l'entreprise (b). C'est le cas des grandes entreprises avec des succursales géographiquement dispersées.

Si le propriétaire du bâtiment loue son bien à des tiers, on parle de bâtiments utilisés par des tiers. Dans le cas c), le propriétaire gère lui-même le bâtiment et le locataire



est l'utilisateur du bâtiment. Néanmoins, le propriétaire mandate souvent un gérant externe afin de régler toute question survenant entre lui et les utilisateurs finaux (d). Les bâtiments à usage propre sont de plus en plus fréquemment gérés par des exploitants spécialisés, salariés du propriétaire – ce qui correspond aux cas a) et b). Pour les bâtiments utilisés par des tiers, un exploitant externe est généralement mandaté, soit par le propriétaire du bâtiment, le gérant ou même par le locataire, ce qui correspond aux cas c) et d).

Lors d'une OéE, l'utilisateur devrait se faire représenter par un responsable énergétique pour coordonner les mesures d'optimisation avec l'exploitant. Dans le cas a), motiver les utilisateurs finaux à participer est le plus facile. Le cas d) est le plus difficile, le bâtiment étant géré par un gérant externe.

#### a) Propriétaire = utilisateur final

Dans les quatre cas, le spécialiste OéE initie la communication de toutes les mesures d'optimisation qui toucheront les utilisateurs finaux. L'exploitant est ensuite responsable de l'instruction. La communication peut passer par les étapes suivantes:

- 1) Le spécialiste OéE présente au propriétaire les mesures d'optimisation possibles qui affecteront le comportement des utilisateurs finaux.
- 2) Le propriétaire informe l'exploitant et l'utilisateur final des mesures d'optimisation prévues.
- 3) En accord avec le propriétaire, le spécialiste OéE informe l'exploitant des mesures d'optimisation à mettre en œuvre pour les utilisateurs finaux.

4) L'exploitant informe le responsable énergétique de l'utilisateur final des mesures d'optimisation. Le responsable énergétique se charge de la réalisation des mesures côté utilisateurs.

Avec cette communication unidirectionnelle, les mesures d'optimisation n'ont pas un effet durable sur toute la durée d'utilisation. Au contraire, elles sont «diluées» après un court laps de temps et leur effet diminue. Un retour d'informations sur les mesures peut contrecarrer cette tendance. Il permet d'une part de consolider la mise en œuvre, d'autre part de préparer le terrain pour de possibles nouvelles mesures. Ce retour peut prendre les formes suivantes:

- 5) Le propriétaire rapporte à l'exploitant ses expériences de mise en œuvre des mesures via le responsable énergétique. Il rapporte les changements positifs et négatifs en matière de confort.
- 6) L'exploitant rapporte au spécialiste OéE sa propre expérience et celle de l'utilisateur concernant les mesures d'optimisation.
- 7) Le spécialiste OéE vérifie les effets énergétiques des mesures réalisées et les annonce au propriétaire.
- 8) Le propriétaire communique les résultats des mesures à l'utilisateur final. Il récompense celui-ci lorsque son comportement a conduit à la réduction voulue.

Après avoir effectué ces étapes avec succès et réalisé le retour d'expérience, il est important de consolider les mesures et d'en préparer d'autres via ce même canal de communication.

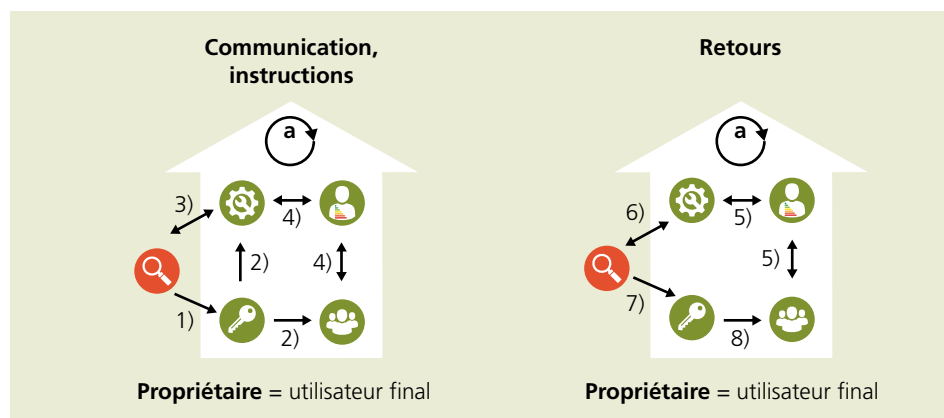


Illustration 5.7: Bâtiment à usage propre, propriétaire = utilisateur final (cas a), communication, instruction et retours entre les parties impliquées dans une OéE.

**b) Propriétaire ≠ utilisateur final**

Il peut sembler illogique qu'un utilisateur final utilise un bâtiment appartenant à l'entreprise sans en être le propriétaire. Cela se produit, par exemple, lorsqu'une entreprise exploite une succursale dans un bâtiment dont elle est propriétaire. Il arrive souvent dans ce cas que la direction de la succursale engage un exploitant sur place – par exemple un concierge salarié. Les étapes de communication sont analogues au cas a). Étant donné que le propriétaire n'occupe pas le même bâtiment, un plus grand effort est nécessaire pour motiver l'utilisateur final pour une OéE.

**c) Locataire = utilisateur final**

Dans le cas de bâtiments utilisés par des tiers, le locataire représente une étape de communication supplémentaire entre le propriétaire et l'utilisateur final. Par rapport au cas a), cela signifie:

1) Comme précédemment, le spécialiste OéE présente au propriétaire les mesures d'optimisation possibles qui affecteront le comportement des utilisateurs finaux.

1.1) Le propriétaire doit conclure avec le locataire une convention concernant l'OéE. Celle-ci précise qui paie l'OéE et qui bénéficie de la réduction des coûts obtenue. Le propriétaire paie normalement les coûts de l'OéE et fait participer le locataire, généralement sous forme de charges réduites, aux économies réalisées grâce au comportement de l'utilisateur. Un obstacle majeur est souvent l'absence d'une convention d'utilisation ou une convention d'utilisation incomplète pour ce qui concerne les exigences de confort. Au cas par cas, les exigences de confort incluses dans le loyer doivent être renégociées, par exemple en ce qui concerne le refroidissement estival.

1.2) Lorsque le propriétaire et le locataire se sont mis d'accord sur les conditions financières de l'OéE, le spécialiste OéE informe le locataire des mesures d'optimisation à venir impliquant le comportement des utilisateurs finaux.

2) Ensuite, le locataire informe l'utilisateur final et son exploitant des mesures d'optimisation énergétiques prévues.

Illustration 5.8:  
Bâtiment utilisé par le propriétaire, propriétaire ≠ utilisateur final (cas b), communication, instruction et retours entre les parties impliquées dans une OéE.

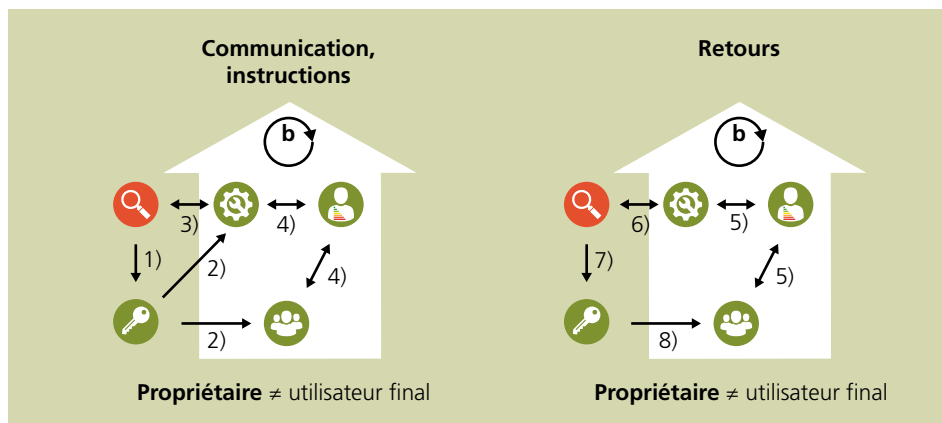
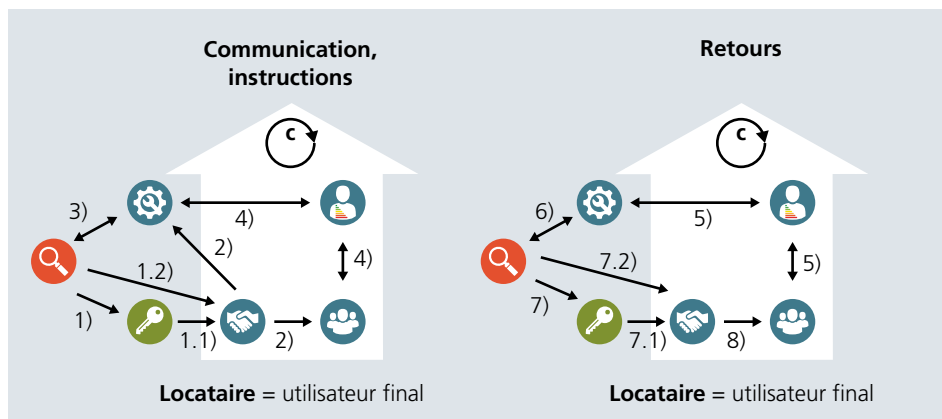


Illustration 5.9:  
Bâtiments utilisés par des tiers, locataire = utilisateur final (cas c), communication, instruction et retours entre les parties impliquées dans une OéE.



Les points 3) et 4) se déroulent ensuite de manière analogue au cas a).

Lors du retour d'expérience, le spécialiste O&E informe d'une part le propriétaire de la performance financière 7) et d'autre part le locataire des économies d'énergie 7.2) réalisées grâce aux mesures d'optimisation. Le propriétaire réduit les charges pour le locataire 7.1) conformément à la convention conclue citée au point 1.1.

En raison de cette communication complexe requérant beaucoup de temps, c'est une exigence forte de vouloir impliquer avec succès l'utilisateur final dans une O&E. Dans tous les cas, une planification minutieuse est indispensable. Dans un bâtiment utilisé par des tiers, motiver l'utilisateur final est également difficile, car c'est le locataire qui bénéficie de l'O&E. Le bénéfice pour l'utilisateur final se trouve donc au second plan.

#### d) Gérant ≠ utilisateur final

Similaire au cas c), il existe une étape supplémentaire entre le propriétaire et l'utilisateur final – ici, il s'agit du gérant du bâtiment. Celui-ci est donc intégré dans la chaîne de communication – un peu comme le locataire dans le cas c). Contrairement au cas c), le gérant est moins confronté aux questions d'utilisation que le locataire. Il est ainsi encore plus difficile d'influencer l'utilisateur final.

Les avantages d'une O&E ne sont pas évidents pour le gérant. Cependant, la collaboration avec ce dernier peut être favorisée par un système financier d'incitation de la part du propriétaire. Sinon, des

conventions entre propriétaire et gérant sont nécessaires – similaire au cas c) entre propriétaire et locataire. Après avoir réglé ce point, le spécialiste O&E peut communiquer avec le gérant sur les mesures d'optimisation qui affecteront le comportement de l'utilisateur final. Soutenu par le spécialiste O&E, le gérant est donc un relais actif entre l'utilisateur final et l'exploitant, lequel fait souvent partie de la gérance.

#### Motivation des utilisateurs

L'utilisateur n'a en général pas d'incitations directes à un comportement énergétiquement responsable. D'autre part, les utilisateurs souhaitant l'adopter n'ont souvent pas les connaissances nécessaires. Il faut donc former et motiver les utilisateurs pour que leurs actions puissent contribuer à une O&E réussie.

La formation se fait de préférence sous forme d'atelier ou de coaching. Il est judicieux de combiner les deux méthodes et de prolonger un atelier avec des coachings individuels. Pour les deux méthodes, il peut être pertinent de recourir à des professionnels avec des connaissances didactiques. L'Office fédéral de l'énergie met à disposition des fiches consacrées aux mesures d'O&E très appropriées comme appui à la formation des utilisateurs ([www.suisse-energie.ch/page/de-ch/werkzeugkasten-betriebsoptimierung](http://www.suisse-energie.ch/page/de-ch/werkzeugkasten-betriebsoptimierung), remarque: disponible uniquement en allemand durant la phase pilote 2020).

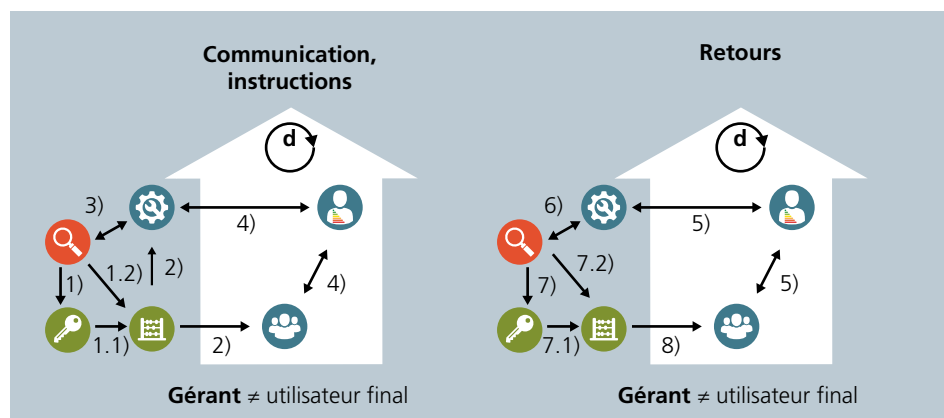


Illustration 5.10: Bâtiment utilisé par des tiers, gérant ≠ utilisateur final (cas d), communication, instruction et retours entre les parties impliquées dans une O&E.

Pendant et après les interventions d'OéE, l'utilisateur doit rester informé des effets de son comportement. Les canaux suivants conviennent pour cela:

- Affichages périodiques
- Intranet
- Application pour Smartphone

Ces canaux peuvent être utilisés pour relater périodiquement des succès, mener des campagnes (par exemple des semaines d'économie d'énergie) ou lancer des concours pour les utilisateurs. Un résultat positif doit être présenté d'une manière compréhensible pour l'utilisateur final. Les smileys sont certainement mieux adaptés à cet égard que les indications en kWh.

Les applications pour visualiser le résultat des mesures sur la base de données traitées graphiquement sont de plus en plus répandues pour le monitoring énergétique, de manière similaire à une pratique dans le secteur du fitness. En plus de la visualisation en temps réel de la consommation d'énergie, ces applications permettent de mettre en place des concours d'économies d'énergie à destination de communautés ou de personnes individuelles. Il est même possible d'intégrer des éléments ludiques tels que différents niveaux de difficulté.

En plus de l'approche ludique des données énergétiques, les applications peuvent interagir avec l'utilisateur via des pop-ups. De cette manière, celui-ci peut être immédiatement sensibilisé à son utilisation particulièrement économique ou dispendieuse de l'énergie. Il est aussi possible de communiquer par ce biais des conseils d'économie d'énergie en fonction des saisons. Les moyens de communication modernes offrent beaucoup de possibilités supplémentaires pour motiver les utilisateurs finaux à adopter un comportement économe en énergie. Il importe juste d'utiliser des manières de communiquer adaptées au groupe cible.

## 5.7 Interfaces

Un projet de construction s'achève par la mise en service et la réception des installations techniques (phase 5 selon SIA 108). C'est le bon moment pour lancer une OéE – elle fait partie de la phase 6, c'est-à-dire l'exploitation et le fonctionnement. D'une part, le moment est judicieux, car, d'expérience, les données d'exploitation effectives diffèrent souvent des valeurs de planification. D'autre part, dans le cadre d'une OéE, l'exploitant peut bénéficier d'un support technique pour son travail avec les nouvelles installations. Toutefois, si l'OéE n'a pas été lancée à la suite de la réception, elle peut être démarrée ultérieurement à tout moment. Avec une connaissance croissante des installations, l'exploitant est en mesure de prendre en charge les tâches OéE de manière de plus en plus autonome. Cela réduit le travail du spécialiste OéE, mais nécessite un esprit d'initiative et un engagement élevés. Par contre, en cas de changement de personnel du côté de l'exploitant, un recours plus soutenu à un spécialiste OéE est recommandé.

Selon la publication «Installations du bâtiment – Planification énergétique intégrée» [3] de SuisseEnergie, les installations techniques font partie du système secondaire du bâtiment. Au cours de la durée de vie de la construction, elles font l'objet de rénovations énergétiques ou doivent en partie être remplacées. Le savoir-faire acquis lors d'une OéE quant à l'utilisation du bâtiment et aux fonctions des installations peut être utilisé de manière avantageuse lors de la planification et de la réalisation de rénovations énergétiques ou lors d'investissements de remplacement. Après la mise en service d'une installation énergétiquement rénovée ou remplacée, il serait idéal que l'OéE se poursuive.

Les propriétaires qui optimisent leur bâtiment en continu sur le plan énergétique bénéficient de coûts d'exploitation plus bas jusqu'à la fin de son utilisation. Le spécialiste OéE bénéficie de l'expérience opérationnelle acquise. Il peut profiter de cette expérience pour de nouveaux projets de constructions aux utilisations similaires.

### Délimitations

Les défauts d'une installation sont bien entendu signalés dans le cadre d'une OéE. Éliminer ces défauts représente un projet séparé sous responsabilité du propriétaire, de l'exploitant et de spécialistes du domaine. De même, si des rénovations énergétiques, l'agrandissement des installations ou encore le remplacement d'installations sont prévus, il faut faire appel à une équipe de planification distincte.

L'expert OéE soutient l'exploitant dans sa tâche de mettre en place un fonctionnement optimal des installations. Cependant, il n'effectue aucun travail de maintenance ou d'entretien. Il ne modifie pas non plus lui-même les paramètres des installations, c'est l'exploitant des installations qui le fait – ceci aussi pour des questions de responsabilité.

### 5.8 Documentation d'ouvrage

Une OéE inclut la mise à jour de la documentation d'ouvrage. Il s'agit de tous les documents numériques et physiques portant sur le fonctionnement des installations pendant l'intégralité de leur cycle de vie. La compréhension et le fonctionnement optimal futur du bâtiment reposent ainsi sur la documentation d'ouvrage. Celle-ci est remise à l'exploitant au plus tard trois mois après les nouveaux réglages, sous forme imprimée et électronique.

La documentation révisée doit contenir toutes les modifications de paramètres des installations concernées par l'OéE. Elle doit consigner les contrôles et nouveaux réglages effectués dans le cadre de l'OéE, à destination des spécialistes des domaines chauffage, ventilation, climatisation, refroidissement, installations sanitaires et

Zoran Alimpic

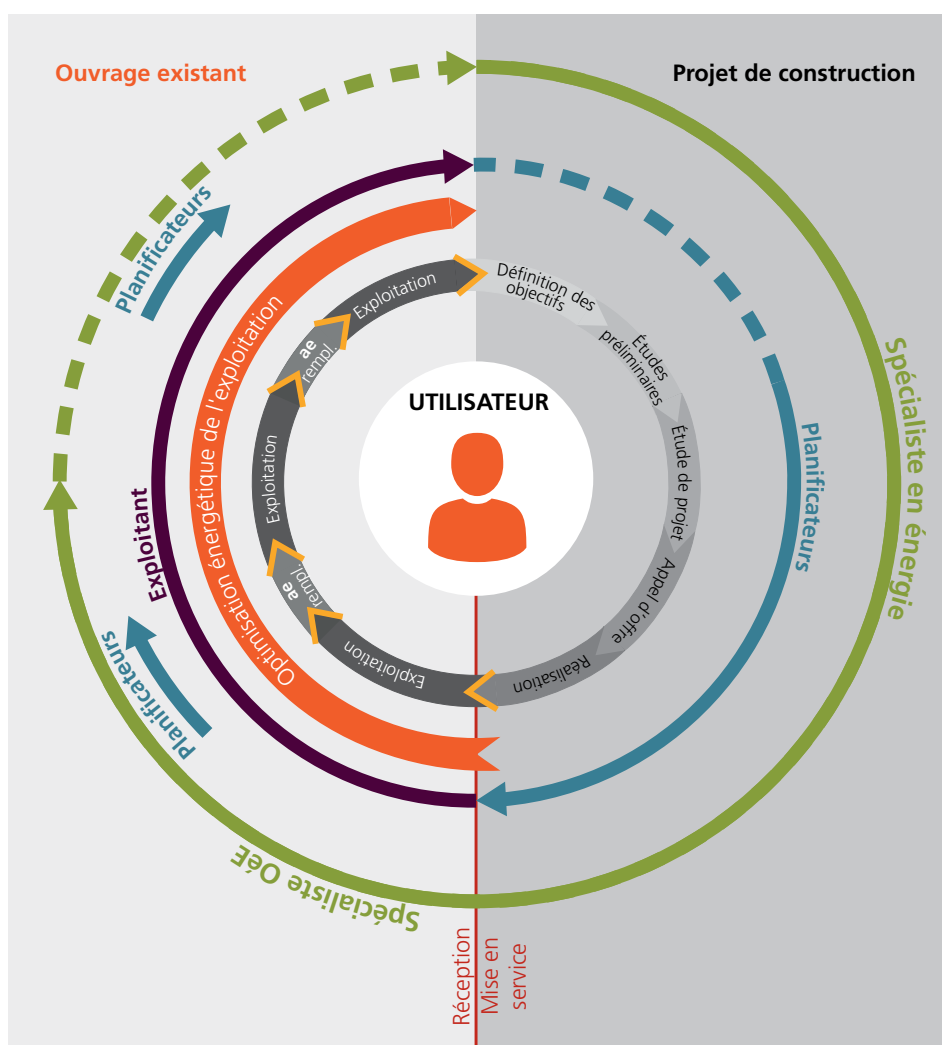


Illustration 5.11: L'OéE dans le cycle de vie des installations techniques avec phases de planification selon la SIA 108.

électriques, et automation du bâtiment. Cela permet de réajuster plus facilement les paramètres de fonctionnement ou, si nécessaire, de les restaurer aux valeurs initiales. Pour toutes ces raisons, l'exploitant a besoin aussi des données de planification complètes et spécifiques au projet, des plans (schémas de principe), des programmes, des listes de paramètres et des données de mesure. Si l'O&E fait partie d'un dossier administratif, par exemple pour une demande d'exonération des taxes sur le CO<sub>2</sub> d'une entreprise, cette documentation doit être conservée pendant dix ans [1].

Malheureusement, il n'existe pas de définition contraignante du contenu de la documentation d'ouvrage. Les règlements SIA concernant les prestations et honoraires des planificateurs exigent comme prestation ordinaire qu'une documentation d'ouvrage soit établie et transmise au maître d'ouvrage sans toutefois définir clairement son contenu. La directive SICC 95-2 sur la maintenance [2] peut servir de guide pour son élaboration. Elle recommande une structuration reprise à l'illustration 5.12.

La liste ci-après est indicative du contenu minimal de la documentation d'ouvrage pour les projets O&E:

- Contrats, description de l'ouvrage et procès-verbaux

- Personne de référence et adresse de toutes les parties concernées (maître d'ouvrage, exploitant, utilisateurs, planificateurs, entrepreneurs, fournisseurs, autorités, voisins, avocats, entreprises de mesure, etc.)

- Expertises en matière de sécurité, hygiène, confort, impact environnemental, respect des exigences légales, etc.

- Documents de demande de permis et décisions

- Justificatifs et autorisations

- Procès-verbaux de mise en service et de réception, y compris réception par les autorités

- Liste des défauts constatés

- Décomptes des travaux et factures finales de tous les mandataires

- Spécifications des produits et des matériaux, y compris périodes et prestations de garantie

- Documentation d'ouvrage standardisée, dont aussi celles basées sur les modèles BIM

- Données de mesure et indices

### BIM

La documentation d'ouvrage standardisée, par exemple selon la KBOB, IPB, KUB/SVIT fournit également les éléments nécessaires à la modélisation des informations du bâtiment via le Building Information Modeling (BIM). Il est ainsi garanti que

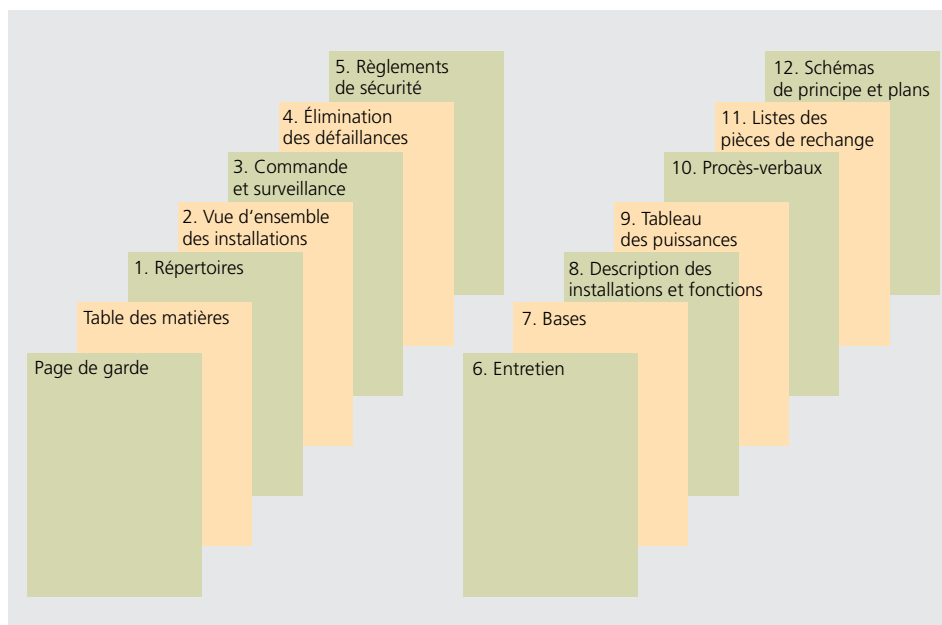


Illustration 5.12:  
Structuration d'une  
documentation  
d'ouvrage selon la  
directive SICC 95-2.



l'exploitant puisse accéder aux données importantes à tout moment, pendant la phase de planification et plus tard pendant l'exploitation.

Le terme BIM désigne les modèles numériques de bâtiments qui représentent un bâtiment en trois dimensions à l'aide d'objets (au lieu de la géométrie conventionnelle). De manière concrète, les composants de l'installation sont représentés visuellement à l'aide d'un logiciel, mais ils constituent en plus des objets reliés entre eux. Outre les données géométriques, ces objets contiennent également des informations sur la matérialisation, les coûts, les temps de pose et les garanties. Ils sont liés entre eux de manière paramétrique: les modifications apportées à des composants spécifiques des installations entraînent automatiquement des ajustements dans les objets associés. Cette interconnexion repose sur une structure de base de données des modèles et elle implique que des règles très détaillées soient suivies lors de l'utilisation du BIM.

En plus du logiciel et du modèle digital, le terme BIM désigne l'ensemble du processus de la construction virtuelle. Il comprend notamment la collaboration structurée de tous les acteurs du projet avec une «planification de la planification» accrue. De nouvelles possibilités sont ainsi ouvertes pour l'OéE, à condition d'actualiser en permanence la banque de données BIM.

## 5.9 Bibliographie

- [1] Conférence des services cantonaux de l'énergie: Aide à l'application EN-142 «Optimisation énergétique de l'exploitation», édition juin 2017
- [2] Société Suisse des ingénieurs en chauffage et climatisation: Directive SICC 95-2, Berne, 2012
- [3] von Euw, Reto; Alimpic, Zoran; Hildebrand, Kurt: Installations du bâtiment – Planification énergétique intégrée, Faktor Verlag, Zurich 2012



## Exemples

### 6.1 Potentiel d'optimisation, même pour les nouveaux bâtiments

**Daniel Imgrüth**

Le lotissement de Heizenholz de la coopérative de construction et d'habitation Kraftwerk 1 se trouve en périphérie, à Zurich-Höngg. Un bâtiment moderne avec une nouvelle identité a été créé sur ce site à partir de deux locatifs des années 1970, reliés par une partie neuve, ceci sur la base d'un mandat d'étude avec l'objectif de densifier le lotissement. Début 2012, les locataires ont emménagé dans ce bâtiment conçu pour plusieurs générations. Il englobe en tout 26 appartements; plusieurs appartements de 1 à 6,5 pièces, deux collocations de 10 chambres, deux grands logements de type «cluster» pour une vie en collocation d'un bon standard, des ateliers ainsi que des locaux communautaires. La surface habitable s'élève à environ 3000 m<sup>2</sup>.

Le lotissement à haute performance énergétique crée les conditions cadres pour un mode de vie écologique. La surface moyenne par personne est de 36 m<sup>2</sup>. Pour les voitures, il n'y a pas de garage souterrain et très peu de places de stationnement. Il existe par contre un garage généreux pour les vélos ainsi qu'une offre en mobilité douce. Les bâtiments sont pourvus d'une installation d'extraction d'air combinée avec une pompe à chaleur pour chauffer l'eau chaude sanitaire. L'installation photovoltaïque sur site fournit l'électricité pour la pompe à chaleur.

#### Mesures et résultat

L'OéE a duré de 2012 à 2015. Au cours des travaux, il s'est avéré que les installations fonctionnaient souvent avec des réglages standard non adaptés à l'utilisation effective depuis la mise en service. Comme souvent pour les habitations, la production de chaleur a constitué le plus grand potentiel d'économie. A titre d'exemple, la température de l'eau chaude sanitaire a été réduite

de 60 à 55°C et l'accumulateur d'eau chaude sanitaire dimensionné en fonction des besoins journaliers. En conséquence, il doit être chargé plusieurs fois par jour. Des économies supplémentaires de chaleur ont été réalisées en adaptant la température moyenne des appartements aux besoins effectifs des locataires.

D'expérience, seule la consommation d'électricité pour les communs peut être optimisée dans le cas de bâtiments résidentiels. En effet, la consommation d'électricité des locataires est en général facturée directement et le propriétaire ne peut l'influencer. Cependant, si les bâtiments disposent d'une installation de ventilation, ce qui est le cas dans notre exemple, cette situation permet souvent d'économiser une quantité non négligeable d'énergie électrique. Le débit total d'air pour les appartements a été initialement fixé en continu à 2715 m<sup>3</sup>/h.

*Illustration 6.1: Lotissement Heizenholz, Zurich. (Photo: Coopérative de construction et d'habitation Kraftwerk 1)*



#### Fiche technique

Mandant	Coopérative de construction et d'habitation Kraftwerk 1
OéE	energo
Localisation	Zurich
Affectation	Habitation
Année de construction	2012 (rénovation et nouvelle construction)
IDE pour la chaleur avant OéE	75 kWh/m <sup>2</sup> a
IDE pour l'électricité avant OéE	14 kWh/m <sup>2</sup> a
Chaleur économisée après 3 ans	17 %
Electricité économisée après 3 ans	6 %
IDE: indice de dépense d'énergie	

Il a pu être réduit à 2500 m<sup>3</sup>/h sans altération du confort. En dehors des heures de fonctionnement de la pompe à chaleur sur l'air extrait, pour les plages pendant lesquelles le système fonctionne uniquement comme une extraction d'air, le débit d'air a été réduit avec succès à 1500 m<sup>3</sup>/h. La consommation électrique des ventilateurs a été diminuée en conséquence. Le nombre excessif de luminaires dans les couloirs et les cages d'escaliers a aussi été réduit et les heures de fonctionnement adaptées en fonction des besoins.

Ainsi, l'OéE a permis d'économiser la troisième année plus de 15 % des besoins énergétiques totaux du lotissement. En chiffres absolus, les 234 000 kWh initiaux (électricité et chaleur) sont abaissés à 194 000 kWh ce qui correspond à une réduction d'environ 40 000 kWh. Les travaux venaient d'être achevés, et le bâtiment certifié Minergie, ce qui rend l'ampleur de l'économie d'autant plus étonnante. Cet exemple illustre à quel point une exploitation efficace des bâtiments, même ceux correspondant au dernier état de la technique, est possible seulement si les installations sont harmonisées entre elles et si leurs plages de fonctionnement correspondent aux besoins des utilisateurs.

La répartition suivante se dessine par rapport à l'énergie finale: 6 % d'économies pour l'électricité et même 17 % d'économies pour la chaleur. A partir des données énergétiques mesurées, l'indice de dépense d'énergie pour la chaleur a pu être réduit de 75 kWh/m<sup>2</sup> a à environ 62 kWh/m<sup>2</sup> a.

### Démarches ultérieures

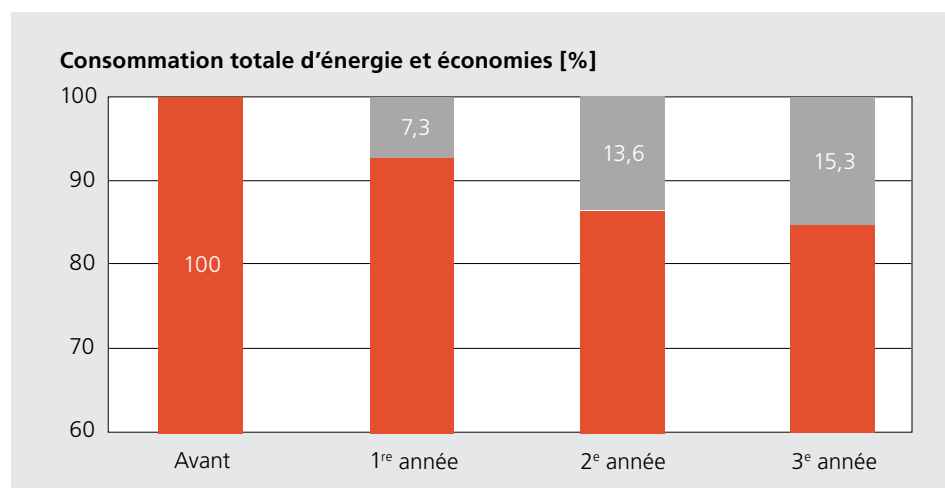
Afin de suivre l'évolution de la consommation énergétique, la coopérative a mis en place un monitoring énergétique après l'OéE. Elle dispose par conséquent d'informations très claires sur la consommation d'énergie. Des modifications de consommation ou encore des irrégularités des installations peuvent ainsi être détectées à un stade précoce. Le fonctionnement optimal des installations techniques est ainsi garanti à long terme.

### Différents groupes d'intérêt

Intégrer les différents groupes concernés dans le projet constitue un défi typique de l'optimisation de l'exploitation des bâtiments résidentiels. La gestion des dénominateurs communs exige pour cette raison une attention particulière. Une communication ouverte, tout comme la transparence concernant les intérêts particuliers des parties impliquées dans le projet en font partie.

D'une part, c'est le propriétaire qui décide si une optimisation de l'exploitation est à réaliser. D'autre part, il arrive souvent que des exploitants soient impliqués. Sur place, c'est le spécialiste OéE qui est en contact avec la conciergerie ou le service technique. En cas de plaintes des locataires, il vaut mieux clarifier au préalable les canaux de communication et la gestion des tensions entre les personnes concernées. L'information, la communication et une compréhension partagée des rôles sont essentielles pour le succès d'une OéE.

Illustration 6.2:  
Lotissement Heizenholz, Zurich: économies réalisées par rapport à la consommation totale d'énergie grâce à l'OéE. (Source: *energo*)



## 6.2 OéE; point de départ d'une modernisation des installations

**Peter Böhler** Le centre Höchweid est un établissement médico-social avec trois unités de soins et une unité de logements protégés de 106 lits. Il englobe également une restauration et plusieurs salles de réunion. Tout ce programme est réuni dans un bâtiment construit en 1994.

La consommation de combustible est de 546 MWh par an pendant la période de référence. De plus, deux pompes à chaleur livrent environ 80 MWh par an. La consommation d'électricité est de 609 MWh par an. Les coûts énergétiques annuels s'élèvent à environ 152 000 Fr.

### Préparation de la modernisation

L'installation de chauffage existante avec comme composant principal une chaudière bivalente (mazout et gaz) a été ajustée plusieurs fois et ponctuellement améliorée depuis sa mise en service (illustration 6.4). En 2019, l'installation doit être adaptée pour être raccordée au chauffage à distance de Lucerne, ajustée par rapport à

l'affectation actuelle et revue pour répondre à des changements d'utilisation futurs. En plus de réduire les coûts énergétiques, un objectif important de l'OéE consiste à acquérir des connaissances sur le fonctionnement effectif de l'installation. Elles constituent la base pour la prochaine transformation de la centrale de chauffage.

### Système modifié au fil du temps avec de nombreuses dépendances

À l'origine, le système de gestion du bâtiment était dimensionné pour fonctionner avec deux centrales de cogénération (CCF) comme groupes électrogènes de secours. En raison de pannes récurrentes et d'exigences modifiées, les groupes électrogènes ont été peu à peu mis hors service et en partie démontés. Au démarrage de l'OéE, une CCF se trouve encore sur place, toujours reliée hydrauliquement, et une pompe à chaleur eau-eau occupe l'emplacement de la deuxième centrale pour du chauffage d'appoint.

L'eau chaude sanitaire est produite à l'aide d'un échangeur de chaleur à plaques relié sur deux cuves d'accumulation. Il est assisté par la récupération de chaleur de l'installation de froid industriel et par une pompe à chaleur récupérant l'air rejeté. Les températures élevées du système de charge des accumulateurs limitent néanmoins l'utilisation des deux pompes à chaleur. La régulation de la centrale de chauffage est regroupée sur une unité centrale. Toutefois, elle ne correspond plus à l'état actuel de l'installation en raison des différents ajustements effectués depuis la mise en service.

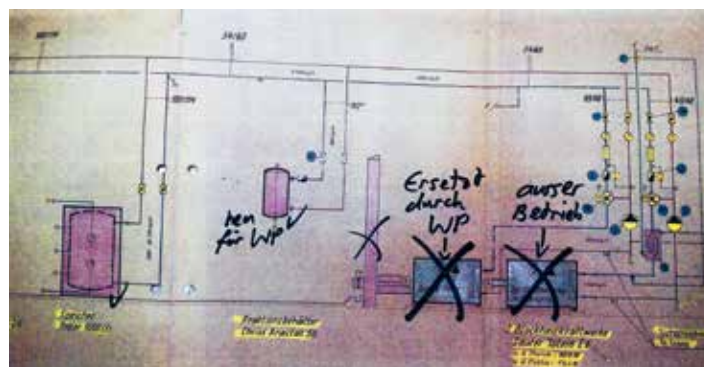
*Illustration 6.4: Extrait du schéma de principe d'origine de l'installation de chauffage; les annotations témoignent des adaptations effectuées au cours du temps. (Photo: Böhler, MTU GmbH)*

*Illustration 6.3: Centre Höchweid. (Photo: Centre Höchweid)*



### Fiche technique

Mandant	Centre Höchweid
OéE	energo
Localisation	Ebikon LU
Affectation	Établissement médico-social
Année de construction	1994
IDE pour la chaleur avant OéE	87 kWh/m <sup>2</sup> a
IDE pour l'électricité avant OéE	85 kWh/m <sup>2</sup> a
Energie fossile économisée après 1 an	25 %
Electricité économisée après 1 an	1 %



### Le défi du fonctionnement normal

En absence d'un renouvellement complet, la régulation est devenue de plus en plus complexe et la vue d'ensemble de l'installation de plus en plus difficile pour le personnel d'exploitation. L'objectif principal est de satisfaire les exigences de confort des utilisateurs. A titre d'exemple et afin d'éviter les plaintes, les valeurs de consigne pour la température sont très élevées. Étant donné que les pannes dues à des défauts dans les composants électroniques plus anciens ont augmenté, la stratégie a consisté à réagir au lieu d'agir.

Après analyse de cette situation, les effets produits sont évidents: en raison des températures élevées du système, les pompes à chaleur ont souvent des défaillances (illustration 6.5) et la part de chaleur qu'elles fournissent est par conséquent faible. Pour la même raison, la production d'eau chaude ne fonctionne pas de manière optimale, car les échangeurs de chaleur à plaques sont souvent entartrés. La consommation électrique des installations de ventilation est élevée en raison des débits d'air importants et des durées de fonctionnement généreuses.

Au début du projet O&E, l'installation et son comportement effectif ont été analysés de manière systématique. La documentation des installations techniques, le contrôle de base (relevés réguliers des compteurs) et en particulier l'expérience de longue date du concierge responsable ont constitués des éléments primordiaux de cette analyse.

Les écarts entre la documentation et l'installation effective ont rendu la planification

et la mise en œuvre des mesures O&E difficiles. La persévérance et la bonne collaboration entre toutes les personnes impliquées se sont avérées d'autant plus importantes.

### Mesures et résultats

Les réglages principaux de l'automatisation du bâtiment ont été analysés au début du projet. Les possibilités d'optimisation sont relativement importantes en raison de la régulation individuelle des locaux déjà installée. Elle permet de mettre en place des programmes de température spécifiques pour des locaux appartenant au même groupe de chauffage, mais utilisés de manière différente. Toutefois, dans les locaux exposés, les radiateurs dimensionnés au plus juste laissent peu de marges par rapport à l'optimisation des valeurs de consigne des locaux et des températures de départ.

Dès le début, augmenter le degré de couverture de la chaleur par les deux pompes à chaleur a représenté la plus grande priorité. Cet objectif est très limité à cause du système hydraulique existant peu approprié pour les pompes à chaleur; ce problème est dû à des températures de retour élevées. En définitive, seule la transformation de la centrale de chauffage permettrait de résoudre ce problème. Toutefois, l'adaptation des valeurs de consigne et le maniement partiellement manuel du système (entraînement défectueux de la vanne, illustration 6.7) permettent déjà d'accroître significativement le degré de couverture, notamment de la pompe à chaleur eau-eau.

*Illustration 6.5:  
Message d'erreur  
de la pompe à  
chaleur eau-eau.  
(Photo: Böhler,  
MTU GmbH)*



*Illustration 6.6:  
Capture d'écran  
avant optimisation  
de la régulation in-  
dividuelle des lo-  
caux. (Source:  
Böhler, MTU GmbH)*

Raum-Bezeichnung		Soll	Ist	Ventil
Garderobe	U.04	20.0 °C	25.4 °C	0.0 %
Garderobe	U.06	20.0 °C	22.3 °C	0.0 %
Apotheke	U.08	20.0 °C	22.1 °C	0.0 %
Mäscherei Bügeln	U.23	15.0 °C	22.2 °C	0.0 %
Küchenlager	U.21	19.0 °C	25.1 °C	0.0 %
Küche	U.22	22.0 °C	25.9 °C	0.0 %
Lieferanteneingang		20.0 °C	22.8 °C	0.0 %
Garderobe	U.16	20.0 °C	21.3 °C	0.0 %
Garderobe	U.15	20.0 °C	20.5 °C	0.0 %
Abschiedsraum	U.11	17.0 °C	24.6 °C	0.0 %
Technischer Dienst	U.12	20.0 °C	24.6 °C	0.0 %
Haupteingang		23.0 °C	24.1 °C	20.0 %
Büro Fachstelle	E.01	24.0 °C	24.3 °C	13.3 %
Leitung Pflege	E.02	24.0 °C	24.3 °C	13.3 %
Leitung Heine	E.03	24.0 °C	24.1 °C	26.7 %

Le fonctionnement des trois installations de ventilation est adapté aux exigences d'utilisation. La ventilation de la cuisine professionnelle constitue un défi particulier. Les débits d'air sont à la limite du sous-dimensionnement en raison des ajouts successifs de nouveaux appareils. Après la pose de la nouvelle régulation de ventilation, les programmes horaires, les valeurs de consigne et les valeurs seuils sont adaptés de sorte qu'un fonctionnement efficace et simple soit possible toute l'année. La première année, la consommation de mazout et de gaz est réduite d'environ 25 % (illustration 6.8). Pendant la même période, la consommation d'électricité est réduite en été et pendant les périodes de transition. En hiver, l'électricité consommée par les pompes à chaleur augmente légèrement.

#### Potentiel à exploiter après la modernisation

La régulation de la production de chaleur est renouvelée en parallèle à la transformation de la centrale de chauffage et au raccordement au réseau de chaleur. Par rapport à la mise en œuvre de ces nouveaux dispositifs, des mesures d'optimisation sont planifiées et réalisées de manière ciblée. Il s'agit en particulier de prendre en compte suffisamment tôt les besoins de

l'OéE pour ces travaux de modernisation. L'exploitant doit pouvoir en priorité effectuer certains contrôles et réglages afin de pouvoir exploiter l'installation en fonction des besoins.

Avec cet objectif, le spécialiste OéE participe à la planification et au paramétrage du nouveau système. Cette démarche permet d'augmenter certains potentiels d'optimisation et de créer des potentiels supplémentaires.

L'OéE joue en outre un rôle important pendant et après la mise en service de l'installation transformée. L'expérience acquise par l'OéE et le suivi hebdomadaire de la consommation d'énergie permettent de découvrir rapidement les défauts cachés. Le confort des utilisateurs peut également être augmenté de manière durable grâce à l'utilisation cohérente des options de réglage supplémentaires.

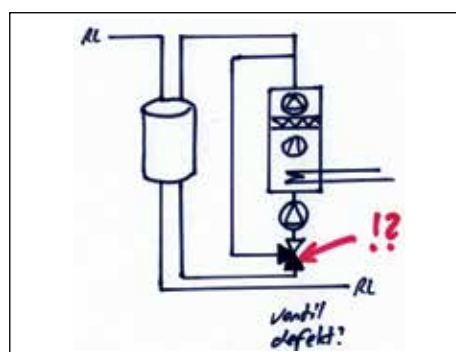


Illustration 6.7: Schéma de principe de la pompe à chaleur eau-eau avec vanne de régulation défectueuse.

(Source: Böhler, MTU GmbH)

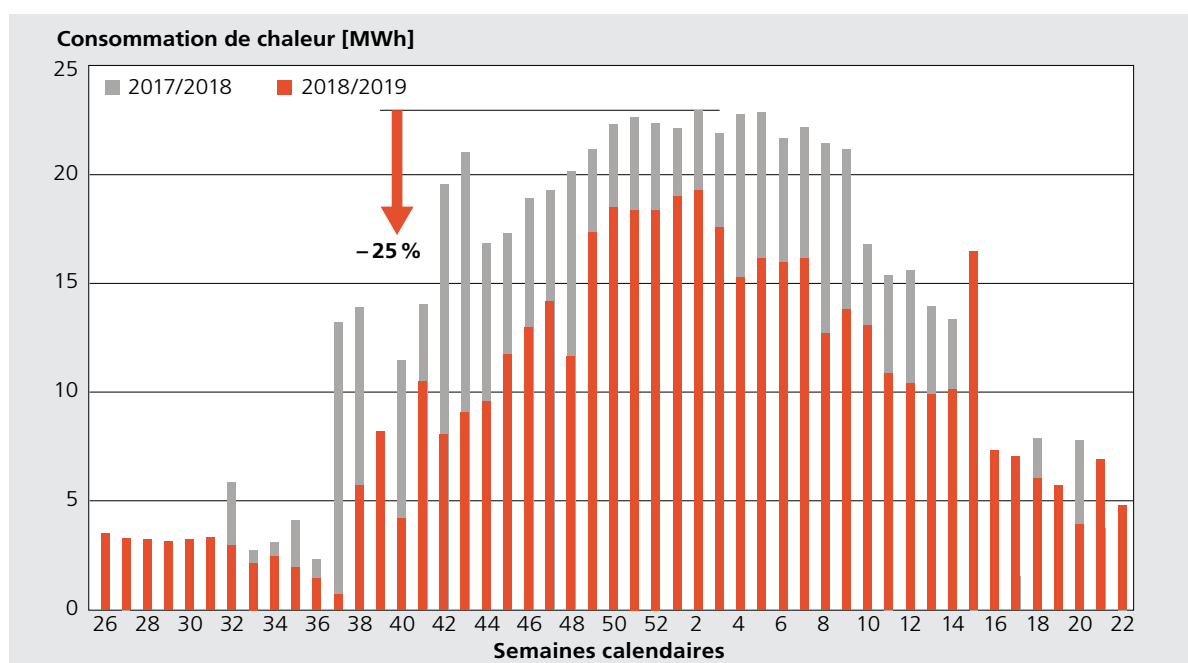


Illustration 6.8: Évolution de la consommation d'énergie fossile lors de la première année d'optimisation. (Source: Böhler, MTU GmbH)

### 6.3 Complexe avec ancien et nouveau bâtiment

**Roland Stadelmann**

L'école technique professionnelle de Zurich (TBZ), une des plus grandes écoles professionnelles en Suisse, forme des apprenants dans 16 professions. Il s'agit notamment des domaines techniques automobile, électrotechnique/électronique, technologies de l'information, optique ophtalmique et technologie événementielle. Via la filière d'étude supérieure, elle offre en sus des formations continues et des cours.

Le complexe comprend deux corps de bâtiment: le bâtiment principal, Expositionsstrasse 70, construit en 1963, et le nouveau bâtiment, Ausstellungsstrasse 70, érigé en 2005 et donnant directement sur la Sihl. La partie basse du nouveau bâtiment en forme de L et certifié Minergie, reprend la hauteur du bâtiment principal, tandis que la nouvelle tour domine les bâtiments voisins de six étages et abrite entre autres les salles de sport. En 2008, la distinction «best architecture» niveau or a été attribuée à la nouvelle construction.

*Illustration 6.9: Ancien bâtiment de l'école technique professionnelle de Zurich. (Photo: Office des bâtiments du canton de Zurich)*



L'ancien bâtiment situé à la Ausstellungsstrasse comporte des salles de cours et un réfectoire. Grâce à diverses mesures de modernisation, son standard énergétique a été régulièrement amélioré par le passé. La consommation totale de chaleur et d'électricité se monte avant l'OéE à 2,35 GWh/an environ pour les deux bâtiments d'une surface de référence énergétique de 33 000 m<sup>2</sup>. Les 71 kWh/m<sup>2</sup> qui en découlent peuvent déjà être considérés comme un assez bon résultat. La consommation d'eau est de 3500 m<sup>3</sup> par an.

#### Ensemble vers le succès

En 2012, l'office des bâtiments du canton de Zurich et la direction de l'école décident en commun de soumettre les deux bâtiments à une OéE. Le mandat intègre principalement les prestations de direction du projet, coordination globale et mise en place d'un monitoring énergétique. Il inclut aussi des conseils techniques sur place pour l'optimisation des installations techniques existantes. Le personnel du service technique de l'école est ainsi instruit sur l'efficacité énergétique de l'installation – à travers la collaboration avec le spécialiste OéE – et suit en sus un programme de formation continue.

Une OéE couvre en principe tous les domaines de la technique du bâtiment. Ce sont les interfaces qui sont particulièrement intéressantes pour ce type d'objet. Il s'agit, par exemple, de l'interaction de différents producteurs de chaleur, de l'ajustement entre la distribution de chaleur dans les locaux et les installations de ventilation ou encore de l'utilisation de froid industriel avec une ventilation en parallèle. La plus haute priorité consiste à éviter la consommation d'énergie sans bénéfice, par exemple, chauffer et refroidir à de courts intervalles, voire en même temps. Dans l'entre-saison, ces situations sont fréquemment constatées et doivent être empêchées par des réglages appropriés des régulateurs. Le fonctionnement durant les week-ends et les vacances est une autre priorité: lorsque l'école est fermée, seul un minimum d'énergie devrait être utilisé.

#### Fiche technique

Mandant	Office des bâtiments du canton de Zurich
OéE	energo
Localisation	Zurich
Affectation	Ecole
Année de construction	1963 et 2005
IDE pour la chaleur avant OéE	35,2 kWh/m <sup>2</sup> a
IDE pour l'électricité avant OéE	36,1 kWh/m <sup>2</sup> a
IDE pour la chaleur après OéE	26,0 kWh/m <sup>2</sup> a
IDE pour l'électricité après OéE	31,9 kWh/m <sup>2</sup> a
IDE: indice de dépense énergétique	



### Mesures mises en œuvre et résultat

Les mesures suivantes sont mises en œuvre:

■ **Installations de chauffage:** pour la pompe à chaleur, réduction de la surélévation de température et du fonctionnement de la pompe du condenseur, abaissement de la courbe de chauffe et de la limite de chauffage, optimisation de la buse du brûleur de la chaudière à gaz, restriction du recours à la chaudière d'appoint pour les pointes de puissance, réduction de la température ambiante dans la centrale de ventilation.

■ **Installations de ventilation:** optimisation des débits d'air en fonction de la teneur en CO<sub>2</sub>, programmation d'une limite de chauffage pour le préchauffage de l'air extérieur et ajustement de la température de l'air fourni en hiver, abaissement de la température ambiante des salles de gymnastique, exploitation accrue de la récupération de chaleur (RC).

■ **Installations de froid:** pour la production de froid, adaptation de la température aller à la température extérieure (régime progressif), réduction de la température de refroidissement de 5 K.

■ **Installations électriques:** distributeurs de boissons enclenchés en fonction des besoins, arrêt des appareils électriques non utilisés pendant les vacances.

■ **Eclairage:** utilisation de lampes LED au buffet du réfectoire, réductions des durées de fonctionnement de l'éclairage de la zone de distribution, des WC et des distributeurs de boissons.

■ **Installations sanitaires:** réduction des heures de fonctionnement des pompes de circulation pour l'eau chaude et respect des dispositions hygiéniques, recours à des réducteurs de débit.

Une économie d'énergie de presque 20 % est réalisée grâce aux mesures mises en œuvre tout le long du projet qui a duré 5 ans. La consommation de chaleur est réduite d'environ 305 MWh/a (26,2 %) et la

### Le concept du canton de Zurich

Le canton de Zurich a pour objectif d'exploiter ses bâtiments de manière durable et énergétiquement efficace. Pour tous les bâtiments d'une certaine taille, les données énergétiques sont enregistrées avec le logiciel IngSoft InterWatt et comparées en continu avec des valeurs de référence. Des comptes rendus périodiques avec des rapports énergétiques et des analyses annuelles servent principalement à surveiller la consommation d'énergie et permettent en plus de suivre et de visualiser l'impact des mesures mises en œuvre. Si les consommations sont trop élevées ou si des potentiels d'économie apparaissent, une optimisation de l'exploitation rigoureuse est mise en œuvre. Une cinquantaine de projets OéE a été effectuée jusqu'à maintenant avec un résultat impressionnant; le canton réalise ainsi une économie d'énergie annuelle de 300 GWh soit, chaque année, environ 3,5 millions de francs.

Consommation totale d'énergie et économies [%]

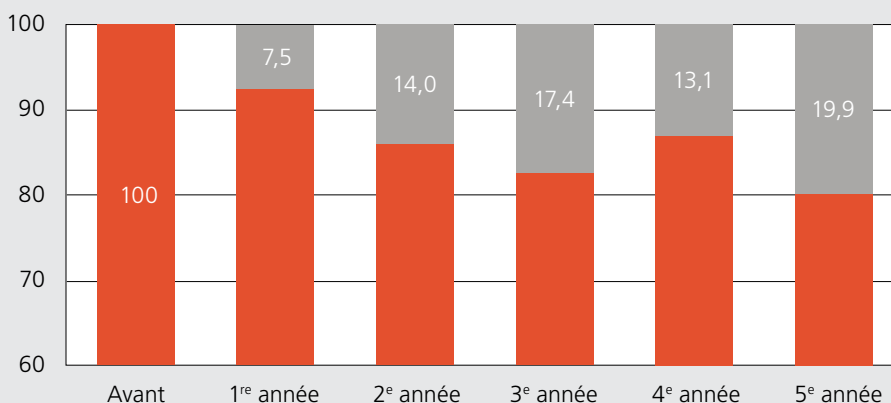


Illustration 6.10: Ecole technique professionnelle de Zurich – économies réalisées par rapport à la consommation d'énergie grâce à l'optimisation de l'exploitation. (Source: energo)

consommation d'électricité de 140 MWh/a (11,7 %). Ces chiffres correspondent à une réduction des gaz à effet de serre de 69 t/a. En sus, la consommation d'eau est réduite de 433 m<sup>3</sup>/a.

Il est intéressant de noter que la consommation d'énergie augmente de nouveau la quatrième année, après avoir constamment diminué les années précédentes (illustration 6.10). En effet, certains réglages de régulateurs ont été réajustés vers le haut sur la base d'expériences liées à l'exploitation et des retours des utilisateurs. L'économie est certes moindre, mais le confort des utilisateurs est assuré à long terme ce qui rend l'OéE durable. D'autres mesures ont été mises en œuvre parallèlement dans d'autres domaines. Pendant la cinquième année, leur retombée positive compense largement les économies «perdus». L'OéE est effectivement souvent un

*Illustration 6.11:  
Le nouveau bâtiment construit en 2005. (Photo: Ivan Suta)*



processus itératif. Il apparaît également que l'ordre de la mise en œuvre des mesures joue un rôle crucial – le cahier technique SIA 2048 renseigne à ce sujet.

La très bonne collaboration de toutes les personnes impliquées et le soutien sans restriction de la direction de l'école ont été essentiels pour la réussite du projet. Les autres points importants ont été l'adhésion de tous aux mesures OéE, le respect systématique des jalons du projet et la bonne communication durant tout le processus.

### **Avantage du monitoring**

Le monitoring énergétique représente un outil important dans ce projet. Lors de la première phase, il fournit des informations sur la consommation des installations les plus significatives. Il indique aussi de quelle manière les installations sont exploitées. L'analyse de ces données permet de définir les priorités et les premières mesures de l'OéE à mettre en œuvre.

Une fois les premières mesures réalisées, le monitoring fournit les informations de base pour contrôler le résultat. A la fin du projet, les économies réalisées découlent de la comparaison entre les consommations totales et la valeur de référence. Les valeurs comparées sont bien entendu des valeurs avec correction en fonction du climat (degrés jours). Le logiciel de contrôle des données énergétiques importe à cet effet les données climatiques correspondantes de MeteoSwiss. Le monitoring énergétique permet en sus de contrôler la production de courant provenant de l'installation PV sur site.

## 6.4 Grand potentiel pour les salles de sport

**Raphael Neuhaus**

La salle de sport du Wankdorf à Berne (illustration 6.12) a été construite en 1996 et se compose d'une salle de sport triple et d'une tribune pour 3000 spectateurs. Le bâtiment abrite aussi une cuisine professionnelle et des vestiaires pour des manifestations sportives, des salles de cours et des installations sportives extérieures.

Le complexe a fait l'objet d'une OéE pendant 5 ans. Lors de la recherche de mesures, une attention particulière a été portée au maintien du confort et aux différents états de fonctionnement et usages de la salle de sport. L'occupation de la salle diffère massivement en fonction de l'utilisation. Elle peut être inoccupée pendant la journée et accueillir le soir une manifestation avec 2500 spectateurs et activités de restauration.

### Mesures et résultats

Equipée de capteurs CO<sub>2</sub> et de température, l'installation de ventilation est exploitée via un système de gestion du bâtiment. Cette disposition a permis de réduire les débits d'air totaux et, en parallèle, de les régler de sorte qu'ils correspondent au-

xbesoins effectifs. Pour l'optimisation de la ventilation, le défi était de ventiler toujours suffisamment par rapport aux zones sanitaires borgnes afin de garantir l'évacuation de l'humidité et l'absence de toutes moisissures et d'odeurs inconfortables.

L'expertise du service technique sur place a été particulièrement précieuse lors de cette optimisation de la ventilation. Sa diligence a permis de réduire les débits d'air au minimum nécessaire, ceci grâce à des contrôles réguliers faisant suite aux optimisations et aux réglages du système de distribution d'air effectués de manière indépendante. Beaucoup d'énergie a pu être économisée grâce aux mesures OéE sur les installations très importantes de ventilation. La réduction de 12 % du volume d'air s'est traduite par des économies d'électricité d'environ 35 % sur les entraînements des ventilateurs.

La consommation d'électricité a pu être réduite encore davantage en remplaçant une partie des luminaires de la salle par des projecteurs LED. Un tiers des luminaires des couloirs a été démonté et les durées de fonctionnement des projecteurs extérieurs ont été réduites (illustration 6.13). La consommation totale d'électricité a pu être réduite de 17 % en 5 ans.

Etant donné que la salle est en grande partie chauffée via la ventilation, jusqu'à 25 % de l'énergie thermique a pu être économisée grâce à la réduction des échanges d'air. De plus, les déperditions thermiques dans la salle ont été diminuées par des mesures constructives peu onéreuses, telles que des ferme-porte automatiques (illustration 6.14).

### Succès commun

Les résultats de l'OéE n'auraient pas pu être atteints uniquement par des mesures touchant aux installations techniques faciles à régler et à commander. La collaboration avec un personnel bien formé et le soutien du mandant ont apporté une contribution précieuse. Il était important de tenir informé toutes les personnes impliquées des progrès réalisés, car les différentes parties représentent des intérêts différents.

*Illustration 6.12:*  
*Salle de sport du*  
*Wankdorf à Berne.*  
*(Photo: Ville de*  
*Berne)*



### Fiche technique

Mandant	Ville de Berne
OéE	energo
Localisation	Berne
Affectation	Salle de sport
Année de construction	1996
Energie fossile économisée après 5 ans	27 %
Electricité économisée après 5 ans	17 %

La consommation d'énergie totale (chaleur et électricité) a pu être réduite de 22 % en 2 ans et de 29 % après 3 ans, ceci à travers 37 mesures. Après 3 ans, la consommation annuelle a baissé de 120 000 kWh environ pour l'électricité et de 180 000 kWh environ pour la chaleur. Les coûts énergétiques ainsi économisés ont été supérieurs aux coûts de l'OéE en deux ans (amortissement). Les mesures d'optimisation sont toujours efficaces aujourd'hui.

### Comment comptabiliser?

La question du financement de l'OéE a été une fois de plus un élément central. Étonnamment, il arrive souvent que ni les aspects financiers ni les aspects de gestion ne constituent un obstacle majeur à une

mise en œuvre rapide. C'est plutôt la planification budgétaire, respectivement la comptabilisation des économies qui pose problème.

Du point de vue du mandant, l'OéE doit être budgétisée et comptabilisée en tant que charge. Par contre, les coûts énergétiques économisés ne peuvent pas être présentés comme des recettes, mais uniquement sous la forme de charges réduites. Par ailleurs, la consommation d'énergie et les coûts énergétiques peuvent fluctuer en fonction de la météo et sont difficiles à planifier. En outre, les coûts de l'OéE et les économies réalisées pour le mandant sont souvent comptabilisés dans d'autres secteurs (tels que le secteur de l'environnement ou des finances).

Illustration 6.13:  
Consommation d'énergie pour l'électricité, salle de sport du Wankdorf: 2011 remplacement partiel de l'éclairage de la salle, 2013 adaptation de l'installation de ventilation. (Source: *energo*)

Consommation d'énergie pour l'électricité [kWh]

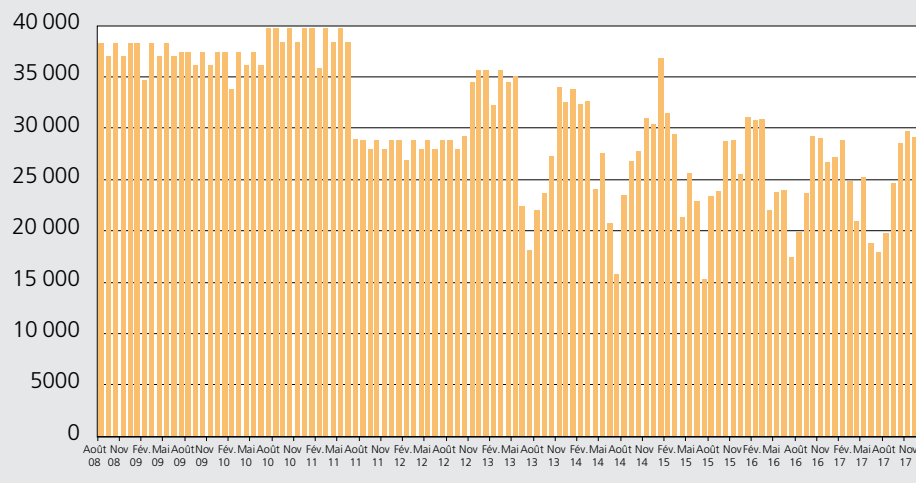
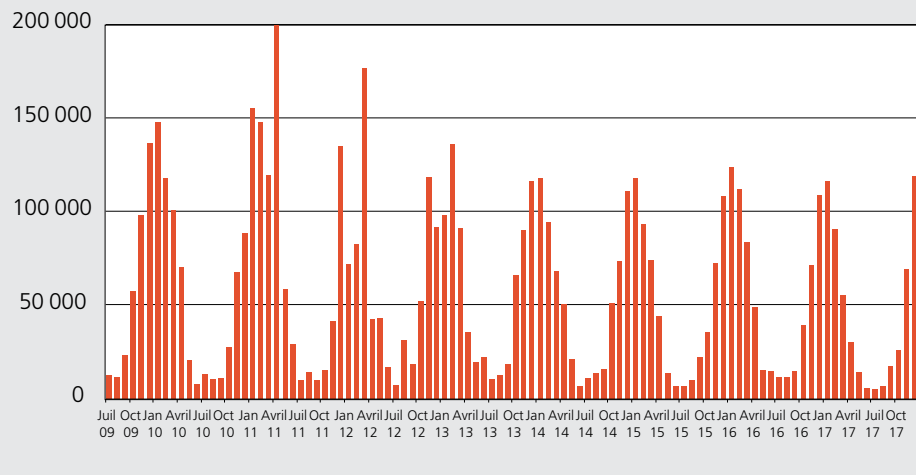


Illustration 6.14:  
Consommation d'énergie pour la chaleur, salle de sport du Wankdorf, avec correction climatique: en 2013, adaptations des installations de ventilation, en 2013/14, pose de fermette automatique. (Source: *energo*)

Consommation d'énergie pour la chaleur [kWh]



L'évaluation comptable dans les comptes annuels peut donc être très délicate et doit être clarifiée au préalable au sein de l'organisation, ce qui nécessite une force de persuasion certaine de la part de toutes les personnes impliquées.

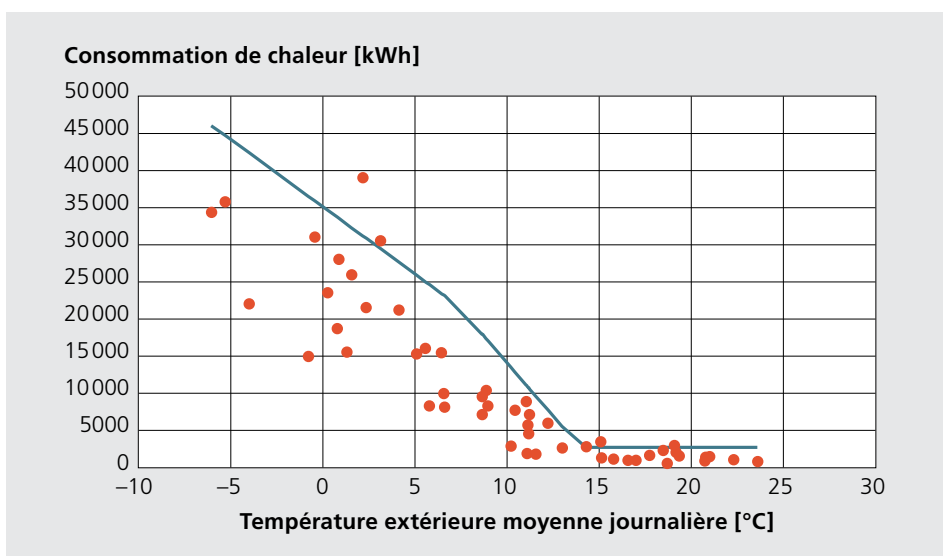
Dans le cadre de la salle de sport, cet aspect n'a été résolu qu'en partie. Toutefois, la consommation annuelle et les économies correspondantes ont pu être mises en évidence grâce au contrôle des données énergétiques effectives installé par les spécialistes OéE. Cette démarche a permis de chiffrer les coûts d'exploitation économisés de manière correcte.

La signature énergétique est un moyen éprouvé pour démontrer l'accroissement de l'efficacité. Le graphe de l'illustration 6.15

montre la consommation d'énergie mesurée par bâtiment en fonction d'une température extérieure donnée et correspond ainsi quasiment à son empreinte énergétique. La signature énergétique est créée spécifiquement pour chaque bâtiment, elle est individuelle. Le monitoring facilite la communication entre les différents partenaires et représente ainsi la clé pour une OéE réussie et transparente.



*Illustration 6.15: L'éclairage existant de la salle a été partiellement remplacé par des projecteurs LED. (Photo: Ville de Berne)*



*Illustration 6.16: Signature énergétique pour la chaleur, salle de sport du Wankdorf: la ligne bleue indique la consommation d'énergie en fonction de la température extérieure lors de l'année de référence. Les points rouges indiquent la consommation d'énergie mesurée en 2016/2017. L'écart correspond à l'énergie thermique économisée. (Source: energo)*



# Annexe

**Ernst Sandmeier**

## 7.1 Notions, définitions

Sans mention particulière, les définitions sont reprises du cahier technique SIA 2048 Optimisation énergétique de l'exploitation.

### Analyse

Comprend l'approvisionnement et l'évaluation systématique d'informations (p. ex. données d'énergie et d'exploitation d'installations) ainsi que leur interprétation.

### Exploitant

Organismes chargés de l'exploitation des installations techniques du bâtiment. Cela concerne l'exploitation commerciale (gestion de biens immobiliers) ainsi que l'exploitation technique et l'exploitation d'infrastructures (p. ex. service technique, conciergerie).

L'exploitant assure entre autres l'exploitation énergétiquement optimale de l'installation et la disponibilité exigée.

### Propriétaire

Le propriétaire est ici la personne ou l'institution qui possède les installations techniques du bâtiment correspondantes. Ce faisant, il est sans importance qu'il s'agisse du propriétaire ou du locataire du bâtiment, resp. d'une partie du bâtiment.

### Utilisateur final

Les personnes physiques qui utilisent le bâtiment (employés, habitants, visiteurs, clients, patients, etc.):

### Optimisation énergétique de l'exploitation (OéE)

L'optimisation énergétique de l'exploitation (OéE) démontre des mesures pour l'augmentation de l'efficacité énergétique qui ne produisent pas de réduction sensible du confort pour les utilisateurs du bâtiment, qui présentent un délai court de récupération du capital (en règle générale moins de 2 ans), qui sont bon marché et qui peuvent être réalisées en règle générale

sans processus de planification ordinaire. L'OéE présente une procédure par étapes avec planification structurée et avec réalisation de mesures individuelles. Le résultat est la somme des mesures réussies et réalisées de manière permanente.

### Suivi énergétique

Application des méthodes du contrôle de gestion sur la phase d'exploitation du processus de l'approvisionnement, de distribution et d'application d'énergie dans le bâtiment [1].

Comprend le suivi de la consommation énergétique, la plausibilisation, la normalisation, l'évaluation (entre autres à l'aide d'étalonnage) de la consommation d'énergie ainsi que la notification au service compétent (décideurs, exploitants, utilisateurs, etc.) pour qu'il décide si des mesures doivent être prises et lesquelles seraient les plus judicieuses.

### Efficacité énergétique

Unité pour la consommation d'énergie pour le bénéfice fixé. Un processus est énergétiquement efficace quand un certain bénéfice est atteint avec une consommation d'énergie minimale.

### Monitoring énergétique

Saisie continue de données, d'informations et d'états de fonctionnement par observation et/ou surveillance d'une procédure ou d'un processus. Les données saisies sont enregistrées et archivées à long terme sur un support informatique approprié [1].

### Valeur de référence énergétique

Consommation d'énergie qui sert de base pour le calcul de réductions de consommation.

### Signature énergétique

Représentation graphique des valeurs de consommation d'énergie saisies périodiquement en fonction d'une valeur de référé-

rence pendant une période fixe (p.ex. consommation d'énergie d'une semaine en fonction de la température extérieure moyenne hebdomadaire pendant une année).

#### **Refroidissement naturel**

Refroidissement par le biais de moyens environnementaux. Exemples: fonctionnement avec tour de refroidissement et contournement de la machine frigorifique, refroidissement (nocturne) de bâtiments avec de l'air frais, refroidissement par le biais d'eau souterraine ou d'eau de rivière.

#### **Système de gestion technique du bâtiment (SGTB)**

Système se composant de tous les produits et services pour la commande et le réglage automatique (y compris des fonctions logiques) pour la surveillance, l'optimisation, l'exploitation ainsi que pour des interventions manuelles et la gestion pour une exploitation énergétiquement efficace, économique et sûre.

#### **Installations du bâtiment**

Totalité des installations fixes qui sont reliées dans des bâtiments (installations électriques, installations de communication, installations de chauffage, installations de ventilation et de climatisation, installations de froid, installations sanitaires, installations de transport, etc.).

#### **Mise en exploitation**

Démarrer l'exploitation d'une installation pour l'utilisation. [2]

#### **Mise en service**

Réglage et contrôle des fonctions définies d'une installation, y compris l'installation des fonctions de commande, de réglage, de maniement et de gestion pour l'obtention et l'optimisation des états de fonctionnement définis. [2]

#### **Utilisateurs**

L'utilisateur (en règle générale une personne juridique en cas d'immeuble commercial) exploite le bâtiment en question, resp. les parties de bâtiment. En tant que

locataire, l'utilisateur paye en échange un loyer au loueur. En règle générale, il n'existe pas de relation de loyer en cas d'utilisation propre. Les coûts des locaux peuvent quand même être facturés à l'utilisateur selon les modalités au niveau administratif interne.

#### **Planificateur**

Il incombe au planificateur de prévoir les étapes nécessaires pour une mise en service énergétiquement optimale et de surveiller en conséquence leur réalisation.

#### **Gestionnaire de réseau**

Personne juridique (organisation) qui est responsable de l'exploitation des réseaux d'infrastructure (p.ex. services de l'électricité, services du gaz, sociétés de distribution d'eau). Peut mettre à disposition les données des compteurs.

#### **Bibliographie**

- [1] German Facility Management Association: GEFMA Richtlinie 124-1, Energiemanagement, Grundlagen und Leistungsbild, 2009, [www.gefma.de](http://www.gefma.de)
- [2] Société suisse des ingénieurs et des architectes: Norme 118/380, Conditions générales relatives aux installations du bâtiment, 2007



## 7.2 Abréviations

AE	Assainissement énergétique	MCR	Mesure, commande, régulation
AEC	Accumulateur d'eau chaude sanitaire	MoPEC	Modèle de prescriptions des cantons dans le domaine de l'énergie
ANF	Air neuf	NSE	Non-Sustainable Exergy
ASC	Alimentation sans coupure	OéE	Optimisation énergétique de l'exploitation
BA ou GTB	Automation du bâtiment	PQM	Project Quality Management
BIM	Building Information Modeling	RC	Récupération de chaleur
BREEAM	Building Research Establishment Environmental Assessment Methodology	REP	Air repris
CF	Convertisseur de fréquence	RJT	Air rejeté
CIMP	Communauté d'intérêts des maîtres d'ouvrage professionnels privés	SFP	Specific Fan Power
COP	Coefficient of Performance – coefficient de performance d'une pompe à chaleur	SGE	Système de gestion de l'énergie
CVC	Chauffage, ventilation, climatisation	SICC	Société suisse des ingénieurs en technique du bâtiment
DGNB	Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen	SRE	Surface de référence énergétique
DJC	Degrés-jour de chauffage	STEP	Station d'épuration des eaux usées
DJR	Degré-jours de rafraîchissement	SVIT	Association suisse de l'économie immobilière
ECS	Eau chaude sanitaire	TQM	Total Quality Management
ECTA	Élément de construction thermo-actif	UCP	Utilisation des rejets de chaleur
EER	Energy Efficiency Ratio – coefficient de performance d'une machine frigorifique	UGR	Unified Glare Rating – taux d'éblouissement
ETC	Écarts de température cumulés	VAV	Variable Air Volume – débit volumique variable
FEKA	Utilisation des rejets thermiques des eaux usées (p. ex. système FEKA)		
FOU	Air fourni		
IOT	Internet des objets		
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change		
IPMVP	International Performance Measurement and Verification Protocol		
KBOB	Conférence de coordination des services de la construction et des immeubles des maîtres d'ouvrages publics		
KUB	Chambre des conseillers indépendants en maîtrise d'ouvrage		

### 7.3 Outils de travail

**Zoran Alimpic**

L'objectif de l'OéE est d'améliorer l'efficacité énergétique des bâtiments existants à travers l'exploitation correcte des installations et appareils du bâtiment. A cet effet, le cahier technique SIA 2048 définit une méthodologie appropriée (voir tableau 1.1). Les données qui sont analysées et évaluées constituent la base à partir de laquelle les mesures effectives sont définies. A ce titre, les checklists du cahier technique SIA 2048 [1] structurées par corps de métier peuvent servir d'outils de travail. La fiche technique VDMA 24197 [2], ainsi que les normes SN EN 15239 [3] et SN EN 15240 [4] englobent des checklists supplémentaires pour des inspections énergétiques. La norme 118/380-C1 [5] contient également des informations utiles.

Lors de la mise en œuvre des mesures, il faut être attentif aux aspects suivants:

- Direction de la réalisation par gestion de projet en s'appuyant sur un Project Quality Management (PQM) ou d'un Total Quality Management (TQM)
- Documentation des mesures par mise à jour du journal des installations et des listes des paramètres et valeurs de consigne
- Actualisation des documentations des installations et des listes de mesures
- Rapport de statut pour les mandants, remise de la documentation OéE (selon BIM)
- Instruction au personnel d'exploitation, respectivement à l'utilisateur

Le contrôle de résultat englobe:

- Comparaison de la consommation d'énergie avec la valeur de référence (comparaison état actuel-valeur de consigne) et les valeurs prévisionnelles avec prise en compte d'éventuelles corrections climatiques ou de changements relatifs à la production. Cette comparaison peut être faite par exemple avec la signature énergétique dans le cadre (d'un système) de gestion de l'énergie.
- Mesures de références, sondages de satisfaction des utilisateurs et des conditions de confort en se référant aux réclamations et aux messages d'erreur

- Prise en compte de l'International Performance Measurement and Verification Protocol (IPMVP) [6] ou d'un protocole équivalent

Les points de contrôle suivants peuvent servir d'outil de travail pour les projets OéE:

- Année de construction des installations et dates pour d'éventuels assainissements
- Concept de mesure avec données des compteurs des gestionnaires de réseau, des entreprises d'approvisionnement et des sous-compteurs privés
- Tarifs énergétiques actuels y compris taxes de raccordement et tarifs de puissance
- Dossier de révision avec tous les schémas de principe et si nécessaire les listes des installations et les fiches de données
- Descriptions des fonctions et des réglages avec tous les paramètres, contrôles, mesures de référence et données de garantie
- Valeurs de consigne telles que courbes de chauffe, températures ambiantes, humidités de l'air ambiant, concentration de substances, qualité, etc.
- Données de mesure et de tendance des systèmes de gestion technique du bâtiment, données climatiques, heures de fonctionnement, etc.
- Nettoyage, hygiène, problèmes de confort, etc.
- Sécurité et redondance avec contrôle du fonctionnement des mesures de protection, y compris des installations de détection incendie et de fumée ainsi que des matières dangereuses
- Visites des installations avec contrôle de la mise en œuvre des prescriptions concernant la sécurité, l'hygiène et l'exploitation

## Bibliographie

- [1] Société suisse des ingénieurs et des architectes: Cahier technique 2048:2015, Optimisation énergétique de l'exploitation, annexes A et B, Zurich, 2015.
- [2] Verein des Maschinen- und Anlagenbaus: Einheitsblatt VDMA 24197, Energetische Inspektion von Komponenten gebäudetechnischer Anlagen, Berlin, 2012.
- [3] Société suisse des ingénieurs et des architectes: Norme SN EN 15239:2007, Ventilation des bâtiments – Performance énergétique des bâtiments – Lignes directrices pour l'inspection des systèmes de ventilation, Zurich, 2007.
- [4] Société suisse des ingénieurs et des architectes: Norme SN EN 15240:2007, Ventilation des bâtiments – Performance énergétique des bâtiments – Lignes directrices pour l'inspection des systèmes de climatisation, Zurich, 2007.
- [5] Société suisse des ingénieurs et des architectes: Norme 118/380-C1:2017, Conditions générales relatives aux installations du bâtiment – Correctif C1, Zurich, 17.
- [6] [www.evo-world.org](http://www.evo-world.org)

## 7.4 Auteurs

**Zoran Alimpic**, Prof. Dr. ing. dipl.; MBA; professeur technique du bâtiment à plein temps à l'institut de technique du bâtiment et d'énergie de la Haute école de Lucerne – Technique & Architecture; CEO Evoplan AG, Technik & Energie, VRP de Evomed AG, planification d'hôpital & de laboratoires.

**Matthias Balmer**, Prof., ingénieur CVC dipl. HTL, MAS HSLU ingénieur en design; coordinateur des cours secteur CVCS à l'institut Technique du bâtiment et énergie de la Haute Ecole de Lucerne – technique et architecture; professeur à plein temps installations techniques du bâtiment & énergie ainsi qu'installations de ventilation et de climatisation Fondateur et directeur du bureau Balmer Energie & Gebäudetechnik Engelberg.

**Peter Böhler**, MSc ETH ingénierie de l'environnement, CAS construction durable/efficacité énergétique/Change Leadership; propriétaire du bureau Böhler MTU GmbH, Kriens; activités comme ingénieur en optimisation de l'exploitation (energo), spécialiste en énergie ACT, expert CECB, professeur à Sanu Future Learning AG et Inova-tech.

**Markus Hubbuch**, Prof. ZFH, ingénieur en mécanique dipl. ETH/SIA; professeur et chercheur pour la gestion technique et énergétique du bâtiment à l'institut de Facility Management, ZHAW, cours dans les filières BSc et MSc Facility Management, BSc ingénierie de l'environnement ainsi que direction de 2 CAS dans les programmes de formation continue MAS Facility Management et MAS Construction durable.

**Daniel Imgrüth**, ingénieur en électronique dipl. HES; MAS économie de l'énergie; MAS ingénieur en économie; directeur section vente, projet et marketing Suisse allemande, et membre de la direction élargie d'energo; chef de la section efficacité énergétique du bureau Schnyder Ingenieure ZG AG; professeur à temps partiel «Énergie et environnement» HES TEKÖ.

**Thomas Lang**, ingénieur dipl. ETS, ingénieur en économie STV; depuis 2010 associé directeur à Zweiweg GmbH. Auparavant conseiller senior pour Social Change et chef de projets de communication complexes dans le domaine de l'énergie, de l'environnement et de la mobilité à K. M. Marketing à Winterthur.

**Angelo Lozza**, ingénieur CVC dipl. ETS, diplôme postgrade en énergie; expert en optimisation d'exploitation et efficacité énergétique; propriétaire et directeur du bureau Lozza Energie und Gebäudetechnik.

**Raphael Neuhaus**, BSc génie mécanique, MAS ingénieur énergéticien du bâtiment; chef de projet Techniques du bâtiment; activité comme ingénieur en optimisation de l'exploitation à energo.

**Roger Neukom**, technicien sanitaire dipl. TS/SIA; directeur et copropriétaire du bureau Neukom Engineering AG; professeur à temps partiel à la Haute Ecole technique, filière technique du bâtiment, à l'école des métiers du bâtiment de Zurich; membre de la commission de formation à Suissetec.

**Ernst Sandmeier**, ingénieur en chimie dipl. ETH; collaborateur scientifique à l'institut de technique du bâtiment et d'énergie de la Haute Ecole de Lucerne – Technique & Architecture.

**Björn Schrader**, Prof., ingénieur en électricité dipl. TU; professeur à la Haute Ecole de Lucerne, directeur de la plateforme thématique Licht@hslu – Technique & Architecture; membre Expert Boards à Electrosuisse, propriétaire du bureau de conseil Lichtkollektiv.

**Roland Stadelmann**, ingénieur en exploitation et production dipl. ETH; directeur marché/filiale Suisse allemande et membre de direction d'energo; directeur de Schnyder Ingenieure ZG AG.

**Olivier Steiger**, Prof. Dr, directeur du groupe de recherche «Lumière, automatisation et systèmes électriques dans le bâtiment» à l'institut de technique du bâtiment et d'énergie de la Haute Ecole de Lucerne – Technique & Architecture; professeur d'automatisation du bâtiment et de IoT.

**Volker Wouters**, Prof., ingénieur en électricité dipl. ETS/SIA; professeur à plein temps à la Haute Ecole de Lucerne – Technique & Architecture, à l'institut de technique du bâtiment et d'énergie; directeur de la section Technique et science au bureau HKG Engineering AG, copropriétaire depuis 2000; président des commissions SIA 387/4 Électricité dans les bâtiments – Éclairage: calcul et exigences et SIA 2056, Électricité dans les bâtiments – Besoins en énergie et puissance requise.

## 7.5 Index des mots clés

### A

Accumulation de chaleur et d'humidité 24  
 Air comprimé 70  
 Alimentation en énergie électrique 81  
 Argumentation 135  
 Automatisation du bâtiment 74

### B

Bilan thermique du corps humain 15  
 BIM 142

### C

Calcul dynamique de comparaison des bénéfices 116  
 Calcul statique permettant une comparaison des bénéfices 112  
 Campagne «Display» 99  
 Changement de comportement, Utilisateur 128  
 Chauffage, installations bivalentes 41  
 Chauffage, régime réduit 38  
 Classes de filtres 59  
 Coefficient de récupération d'humidité 56  
 Communication 125  
 Compensation de courant réactif 71  
 Condensation des gaz de combustion 40  
 Conditions cadres de la physique du bâtiment 19  
 Confort et énergie 15  
 Contrat à durée indéterminée 12  
 Contrat de performance énergétique 12  
 Contrat de prestations 12  
 Convention d'objectifs 10  
 Coopération 102  
 Courants d'air 26  
 Courbe de chauffe 37  
 Critères d'évaluation des mesures OéE 100  
 Cycle d'exploitation des bâtiments 9

### D

Débit d'air neuf minimum 17  
 Définition des types d'énergie 95  
 Déterminer et utiliser des indices 93  
 Diagramme de rénovation 98  
 Diagramme NSE 99  
 Diffusion de vapeur 21  
 Distribution d'air 51

Distribution de froid 64  
 Documentation d'ouvrage 141

### E

Éclairage 29  
 Éclairage, consommation d'électricité 30  
 Éclairage de sécurité 72  
 Éclairage, efficacité 31  
 Élaborer et hiérarchiser les mesures 94  
 Électronique du bâtiment 71  
 Émissions de chaleur de l'être humain 17  
 Équipements et installations à courant faible 72  
 Estimations du potentiel 94  
 Etanchéité à l'air 21  
 État actuel 87  
 Évaluer des mesures 94  
 Exigences de confort 25  
 Exigences de température 18  
 Exigences possibles à une installation de ventilation 50  
 Exploitation en fonction des besoins 93

### F

Filtres à air 58  
 Fonctionnement en dehors du temps de travail 73  
 Fonctionnement sans bénéfice 73  
 Froid de climatisation 63

### G

Garantie de résultat 118  
 Gradient 66, 67  
 Groupes de surpression 47  
 Groupes électrogènes de secours 81

### H

Humidité de l'air intérieur 51  
 Humidité relative 24  
 Humidité relative de l'air 26

### I

Indices de dépense énergétique 118  
 Influence de l'habillement 18  
 Installation d'air comprimé, flux d'énergie 70  
 Installations ASC 71  
 Installations de production d'eau chaude 42  
 Installations de récupération des eaux pluviales 49  
 Installations de transport 34

Installations sanitaires 46  
Instructions aux utilisateurs 136  
Interfaces OéE 140  
Investissement versus optimisation 6  
IoT (Internet of Things) 74, 75

## L

Lampes LED Retrofit 33

## M

Machine frigorifique 65  
Méthode d'amortissement dynamique  
payback 116  
Méthode d'amortissement statique 114  
Méthodes d'analyse graphiques 90  
Modèles commerciaux 12  
Monitoring technique 75  
MoPEC 10

## N

Négociateur 134

## O

Objectifs 7  
Obstacles 7  
OéE, bénéfiques 8  
OéE, définition 5  
OéE et constructions nouvelles 145

## P

Photovoltaïque 82  
Physique du bâtiment de l'enveloppe 20  
Planification des fenêtres et de la lumière  
naturelle 22  
Production de CO<sub>2</sub> 17  
Prospection 132  
Protection contre l'éblouissement 23  
Protection contre le bruit 22  
Protection solaire 23  
Provoquer des décisions 106

## Q

Qualité de l'air intérieur 24, 26  
Qualité de l'air, indicateurs 49

## R

Rapport 121  
Réaliser des mesures 101  
Réducteurs de débit 46  
Refroidissement des locaux 60  
Refroidissement nocturne 61  
Régulation, débit d'air 54

Régulation par différence de pression 55  
Rejets thermiques des compresseurs à air  
comprimé 79  
Rejets thermiques des eaux usées 80  
Rejets thermiques des machines frigorifi-  
ques 78  
Rejets thermiques des processus industri-  
els 80  
Relevé de l'éclairage artificiel 29  
Relever, analyser et représenter les  
données 90  
Rendement de la chaudière 40  
Rentabilité 112  
Répartition des coûts 13  
Résistances et conflits 129  
Risques d'exploitation 122

## S

Salles de gymnastique 153  
Salles de sport 43  
Satisfaction des utilisateurs 118  
Schéma d'interaction 101  
Solaire thermique 83  
Systèmes d'adoucissement 47  
Systèmes de gestion de l'énergie 75  
Systèmes RC, ventilation 56

## T

Taux d'intérêt interne 114, 117  
Taxe sur le CO<sub>2</sub> 9  
Température ambiante 25  
Températures de chaudière 40  
Températures ressenties à une tem-  
pérature ambiante et humidité de l'air  
intérieur 61  
Traitement d'air 53  
Transformateurs 81

## U

Utilisateurs finaux 136  
Utilisation de la chaleur perdue 77

## V

Ventilateurs, efficacité énergétique 55  
Ventilation 49  
Ventilation, efficacité thermique 55  
Visite 90