Sia

Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein
Société suisse des ingénieurs et des architectes
Società svizzera degli ingegneri e degli architetti

Programme d'impulsion RAVEL
Utilisation rationelle de l'électricité
Office fédéral des questions conjoncturelles

Guide d'utilisation
de la recommandation SIA 380/4

L'énergie électrique dans le bâtiment

Documentation SIA D 0131

SIA, Société suisse des ingénieurs et des architectes,
Case postale, CH-8039 Zürich, Tél. 01/283 15 15, Fax 01/201 63 35
Vente des normes et des imprimés Tél. 01/283 15 60

Organisation du projet et patronage

Rédaction

Dr. H. Gugerli	Ing. SIA, Intep AG, Zurich	Conduite du projet, réalisation
S. Gasser	Ing. SIA, CIMREZ, Zurich	Réalisation
E. Füglister	Ing. HTL, Intep AG, Zurich	Réalisation
M. Kunz	Lic.phil., Intep AG, Zurich	Mise en page
Dr. J.-Ph. Borel	Ing. conseil, Cully	Traduction française

Groupe d'accompagnement

M. Hänger	Ing. SIA, Zurich	Chef de projet, application de la SIA 380/4
R. Lang	Ing. SIA, Zurich	Président de la Commission SIA 380/4
Dr. Ch. Weinmann	Ing. SIA, Echallens	Direction du domaine 11 de RAVEL
F. Jehle	Ing., Liestal	Conduite des cours RAVEL "L'énergie électrique dans le bâtiment"
Dr. H.P. Eicher	Ing. SIA, Liestal	Projet OFEN "Analyses des économies d'énergie électrique"

Société suisse des ingénieurs et des architectes
avec l'appui du programme d'impulsion RAVEL "L'utilisation rationnelle de l'électricité"
de l'Office fédéral des questions conjoncturelles (OFQC)

Copyright ©1996 by SIA Zürich
Tous les droits de reproduction, même partielle, de copie intégrale ou partielle (photocopie, microcopie), de mise sous forme de données informatiques et de traduction sont réservés.

Table des matières

1.	**Avant-propos**	**1**
2.	**Introduction**	**3**
2.1	Objectifs et contenus de la recommandation SIA 380/4	4
2.2	Objectif et structure du présent manuel	5
3.	**Introduction à la documentation SIA 380/4**	**7**
3.1	Les éléments centraux de la SIA 380/4	8
3.2	Représentation normalisée de la demande d'électricité	10
3.3	Conditions et heures d'utilisation	14
3.4	Exigences	16
3.5	Marche à suivre pour les études, tâches et prestations	22
4.	**Détermination de la demande d'électricité**	**27**
4.1	Vue d'ensemble des méthodes de calcul	29
4.2	Estimation sur la base de valeurs d'expérience	31
4.3	Calcul simplifié à partir de la puissance spécifique, des facteurs d'exploitation et des heures à pleine charge	33
4.4	Détermination à partir de données de projet d'installations des bâtiments	49
4.5	Indications concernant les procédés de calcul détaillé	53
5.	**Exemple d'application au cas “construction neuve”**	**57**
5.1	Introduction	58
5.2	Préétude	60
5.3	Avant-projet	64
5.4	Projet	68
5.5	Utilité de l'application de la recommandation SIA 380/4	72
6.	**Exemple d'application au cas “rénovation”**	**75**
6.1	Introduction	76
6.2	Analyse de la consommation d'électricité (préétude)	78
6.3	Avant-projet	84
6.4	Projet et exécution	88
6.5	Utilité de l'application de la recommandation SIA 380/4	90
Annexes		
A1	Aide-mémoire pour la direction des travaux, resp. l'architecte	
A2	Caractéristiques d'installations et facteurs d'exploitation pour un calcul simplifié selon paragraphe 4.3	
A3	Méthode complète de calcul simplifié pour le cas “construction neuve”	
A4	Références	

1. Avant-propos

C'est en 1987 qu'un groupe d'initiative de la SIA à lancé l'idée de préparer une recommandation pour l'utilisation rationnelle de l'électricité dans le bâtiment. La signification politique de ce projet, ainsi que le potentiel élevé d'économie auquel on peut s'attendre ont conduit le comité central de la SIA à désigner en 1988 une Commission, dans laquelle des représentants des producteurs et des utilisateurs d'électricité étaient également représentés. Les travaux de recherche ont été financés par le Fonds National pour la recherche énergétique (NEFF) et l'Office Fédéral de l'Energie (OFEN). La Commission 380/4 accompagna et conduisit les travaux sur la recommandation qui est maintenant publiée. Dans le but d'acquérir des expériences et d'effectuer des essais ciblés, un projet appelé «Application 380/4» a été lancé en 1991 par l'OFEN. Les tests effectués durant une année sur une version préliminaire de la recommandation en 1992 ont permis d'acquérir de nouvelles connaissances. La recommandation a été mise en vigueur par la SIA en décembre 1995.

Le chemin parcouru par la Commission SIA 380/4 et les nombreux experts mis à contribution durant les sept années de développement a été influencé par la «norme-soeur» SIA 380/1 «L'énergie dans le bâtiment», qui définit la méthode applicable dans le secteur de la chaleur. Le traitement de la consommation d'électricité s'est révélé beaucoup plus difficile, car il ne s'agit pas, comme pour la chaleur ambiante, d'une exigence uniforme d'utilisation. Les possibilités d'utilisation nombreuses et variées, liées à la nature même de l'électricité, ont dû être prises en considération. C'est ainsi que la méthode a consisté principalement à développer une représentation standardisée des prestations fournies, ainsi que des règles pour évaluer les besoins en énergie correspondants.

On peut se demander avec raison pourquoi, à une époque où l'on exige plutôt une diminution des lois et prescriptions, la SIA s'est engagée à traiter d'un sujet qui ne figurait pas encore dans sa collection de normes, celui de l'énergie électrique dans le bâtiment. En fait, la SIA était prédestinée à assumer cette tâche difficile, car elle réunit en son sein les compétences techniques nécessaires et peut assurer, par son procédé éprouvé de développement de normes, la mise en application pratique de ces instruments. La SIA a pris conscience de sa responsabilité dans un domaine significatif de la politique énergétique, et évité de laisser cette tâche aux Autorités. L'outil qui en est résulté est convainquant et permet aux maîtres de l'ouvrage, aux concepteurs et exploitants de maîtriser la consommation d'électricité dans les bâtiments. L'objectif a été de disposer d'un instrument de conception utilisable dans la majorité des cas (env. 80%) - contrairement à une prescription légale, qui devrait être valable dans 99% des cas. En cas d'application complète de la SIA 380/4, la demande d'électricité pour l'éclairage, la ventilation ou la climatisation peut être réduite d'environ 20% si les valeurs-limites sont atteintes, et de 55% s'il s'agit des valeurs-cibles. Ceci correspond, pour l'ensemble de la Suisse, à un potentiel d'économies de 2 à 4% de la consommation d'électricité, ou en gros 150 à 300 millions de Fr. par an.

RAVEL et la Commission SIA 380/4 attribuent une grande importance à la formation des spécialistes concernés. Déjà en 1994, sur la base du projet provisoire utilisé pour la mise en consultation, les premiers cours d'introduction ont été offerts. Ces cours ont trouvé un bon accueil auprès des participantes et participants et correspondent à un réel besoin. Ils ont en plus contribué à améliorer l'acceptance de la nouvelle recommandation SIA. En parallèle avec la procédure d'approbation par la SIA, le cours «L'énergie électrique dans le bâtiment» a été adapté à la version définitive de la recommandation, et le présent manuel a été rédigé. Le manuel doit convaincre les futurs utilisateurs - aussi indépendamment des cours - de l'utilité de la recommandation et les introduire dans la manipulation des méthodes et des instruments. La documentation s'adresse aux ingénieurs en installations des bâtiments et aux architectes, mais aussi aux maîtres de l'ouvrage, aux représentants des Autorités ainsi qu'aux exploitants.

Reto Lang, Président de la Commission SIA 380/4

2. Introduction

2.1 Objectifs et contenus de la recommandation SIA 380/4 4
2.1.1 Objectifs de la recommandation 4
2.1.2 Contenus de la recommandation 4

2.2 Objectif et structure du présent manuel 5
2.2.1 But du manuel 5
2.2.2 Structure du manuel 5

2.1 Objectifs et contenus de la recommandation SIA 380/4

2.1.1 Objectifs de la recommandation

La nouvelle recommandation SIA 380/4 est un outil destiné à la saisie, l'évaluation et l'optimisation de la consommation d'électricité dans les bâtiments.

La SIA 380/4 s'applique à la construction et à la transformation de bâtiments et complète la recommandation SIA 380/1 "L'énergie dans le bâtiment". Les deux recommandations sont avant tout valables pour les applications énergétiques sur lesquelles le concepteur peut exercer une influence. La recommandation SIA 380/4 traite de manière approfondie les immeubles de services tels que les bâtiments administratifs, les magasins de vente, les écoles, les hôpitaux, les restaurants et les hôtels. Par contre, les bâtiments artisanaux, industriels et d'habitation ne sont traités que partiellement. La méthode proposée par la SIA 380/4 peut toutefois également être appliquée par analogie à de tels bâtiments et installations.

La recommandation s'adresse en premier lieu à l'équipe de projet, constituée de représentants du maître de l'ouvrage, de l'architecte, respectivement du chef de projet et des ingénieurs spécialisés. Elle offre au maître de l'ouvrage la possibilité de fournir à ses mandataires des indications claires concernant les prestations et la demande d'électricité des installations. La recommandation s'adresse en second lieu à l'exploitant. Elle lui permet de vérifier et d'évaluer la consommation d'électricité en cours d'exploitation.

L'utilité de la recommandation pour le maître de l'ouvrage et l'exploitant consiste dans le fait que, par une planification optimale, il est possible d'économiser non seulement de l'énergie, mais également des frais d'investissement et d'exploitation. Pour l'architecte et le concepteur, la recommandation représente un outil de travail efficace grâce auquel le bâtiment et les installations techniques peuvent être adaptés de manière optimale les uns par rapport aux autres.

L'optimisation de l'utilisation de l'électricité dans les bâtiments est une tâche commune à tous ceux qui participent à la planification. La recommandation SIA 380/4 fournit la base en vue d'une collaboration nécessaire et constitue par là-même un instrument de planification intégrale.

2.1.2 Contenus de la recommandation

L'élément central de la recommandation SIA 380/4 est la représentation normalisée de la demande d'électricité, définie par les formulaires "Bilan électrique", "Demande spécifique d'électricité" et "Indices de dépense d'énergie " (voir SIA 380/4, page 12). Cette représentation normalisée représente une base de communication entre différentes disciplines concernées par le projet. Elle permet une comparaison et une évaluation de l'efficacité énergétique de différents bâtiments et installations et fournit ainsi au maître de l'ouvrage et au concepteur les bases de vérification des exigences de qualité.

La recommandation SIA 380/4 émet des exigences en matière de demande d'électricité pour l'éclairage, la ventilation ou la climatisation d'immeubles de services (par exemple immeubles de bureaux, magasins, écoles, hôpitaux, restaurants et hôtels).

2.2 Objectif et structure du présent manuel

2.2.1 But du manuel

La recommandation SIA 380/4, contrairement à la recommandation SIA 380/1, ne propose aucun procédé de calcul servant à fournir la preuve du respect des exigences. Elle exige uniquement que la détermination de la demande d'électricité soit effectuée de façon explicite (recommandation SIA 380/4, chiffre 2 2) et satisfasse les performances requises.

Une des tâches principales de cette documentation est de présenter différentes méthodes de détermination de la demande d'électricité.

En outre, le texte relativement concis de la recommandation est complété par des exemples et des informations complémentaires, afin d'en faciliter la compréhension par l'utilisateur.

2.2.2 Structure du manuel

Introduction à la recommandation (chapitre 3)

On y trouve tout d'abord une explication de la présentation normalisée de la demande d'électricité. On indique ensuite de quelle manière les exigences en matière de demande d'électricité pour l'éclairage et la ventilation ou la climatisation sont définies. Troisièmement, on explique la méthode utilisée pour la planification et on fournit des renseignements concernant les obligations et prestations des mandataires. La liste aide-mémoire présentée à l'annexe A1 doit apporter un soutien au maître de l'ouvrage ainsi qu'à l'architecte, respectivement à la direction des travaux dans la mise en application de la recommandation.

Détermination de la demande d'électricité (chapitre 4)

Dans ce chapitre, on présente différentes méthodes de détermination de la demande d'électricité. On y montre tout d'abord de quelle manière la demande d'électricité peut être estimée sur la base de valeurs d'expérience. Ensuite, des méthodes de calcul sont présentées qui permettent d'obtenir de façon simple la demande d'électricité au stade de l'avant-projet ou du projet. Des renseignements sont ensuite fournis aux ingénieurs spécialisés concernant des procédés de calcul détaillé. Les explications complètes concernant ces méthodes dépasseraient cependant le cadre de ce manuel.

Exemples d'application (chapitres 5 et 6)

L'application de la recommandation SIA 380/4 dans le déroulement du projet est illustrée sur la base de deux cas concrets au moyen des deux exemples "construction neuve" et "rénovation".

3. Introduction à la documentation SIA 380/4

3.1 Les éléments centraux de la SIA 380/4 8

3.2 Représentation normalisée de la demande d'électricité 10
3.2.1 Découpage du bâtiment en zones 10
3.2.2 Répartition des consommateurs par prestations 10
3.2.3 Les éléments de la représentation normalisée 12

3.3 Conditions et heures d'utilisation 14
3.3.1 Conditions d'utilisation 14
3.3.2 Heures d'utilisation 14
3.3.3 Utilisation effective et vérification des performances 14

3.4 Exigences 16
3.4.1 Valeurs-limites et valeurs-cibles 16
3.4.2 Exigences concernant les heures et conditions d'utilisation selon tableaux 2 et 3 de la recommandation 18
3.4.3 Détermination des exigences pour les cas où les heures et conditions d'utilisation diffèrent des valeurs indicatives de l'annexe 2 de la recommandation 20

3.5 Marche à suivre pour les études, tâches et prestations 22
3.5.1 Etudes préalables 22
3.5.2 Avant-projet 22
3.5.3 Projet d'exécution 23
3.5.4 Réalisation 23
3.5.5 Vérification des performances 24
3.5.6 Tâches et prestations des personnes concernées 24

3.1 Les éléments centraux de la SIA 380/4

Toute planification respectivement toute construction est un cas particulier. L'application de la recommandation SIA 380/4 est par conséquent différente de cas en cas. Malgré cela, ce sont toujours les mêmes éléments qui jouent un rôle. Ceux-ci sont représentés de façon schématique à la figure 3–1 à l'exemple d'un immeuble bancaire de 4000 m^2 de surface de référence énergétique.

Conditions d'utilisation
Le maître de l'ouvrage ou l'architecte ont pour tâche de fixer les conditions d'utilisation (voir paragraphe 3.3) pour les différentes zones d'un bâtiment. (Exemple: les conditions et heures d'utilisation pour l'éclairage dans des bureaux paysage. Quel doit être le niveau d'éclairement et jusqu'à quelle distance on peut utiliser la lumière naturelle?)

Représentation normalisée de la demande d'électricité
La demande annuelle d'électricité est à représenter de façon normalisée (voir paragraphe 3.2) sous forme de "bilan électrique" (formulaire 1). Dans ce but, les différents éléments de ce bilan doivent être définis d'une part par zone du bâtiment (p.ex. bureau paysage) et d'autre part par prestation (p.ex. l'éclairage).

Afin qu'il soit possible de soumettre à une comparaison la demande annuelle d'électricité déterminée par zone et par prestation (c.à.d. p.ex. pour l'éclairage des bureaux paysage), ce bilan est rapporté à la surface de plancher correspondante (formulaire 2, "demande spécifique d'électricité"). La recommandation SIA 380/4 émet les exigences vis-à-vis de la demande spécifique d'électricité des prestations "éclairage" et "ventilation ou climatisation" (domaine entouré d'un trait gras dans le formulaire 2).

Puis, dans le formulaire 3 "Indices de dépense d'énergie", c'est enfin la demande d'électricité de chaque prestation qui est rapportée à la surface de référence énergétique du bâtiment.

Détermination des exigences
Les exigences sont définies en fonction des conditions d'utilisation. Dans le cas où les conditions d'utilisation sont connues, les exigences concernant la demande spécifique d'électricité pour l'éclairage et la ventilation ou climatisation peuvent être déduites directement à partir des tableaux 2 et 3 de la recommandation SIA 380/4, ou encore à partir des valeurs indicatives de l'annexe A2 de la recommandation (voir paragraphe 3.4).

Comparaison de la demande d'électricité déterminée avec les exigences
Les valeurs de la demande spécifique d'électricité déterminées pour un objet défini (valeurs d'objet) doivent être comparées aux exigences de la recommandation SIA 380/4. Si les exigences présentées ne sont pas respectées, alors il faut procéder à une optimisation. Dans ce cas là, il faut vérifier, et adapter le cas échéant les conditions d'utilisation prévues ainsi que les solutions architecturales et techniques relatives aux installations.

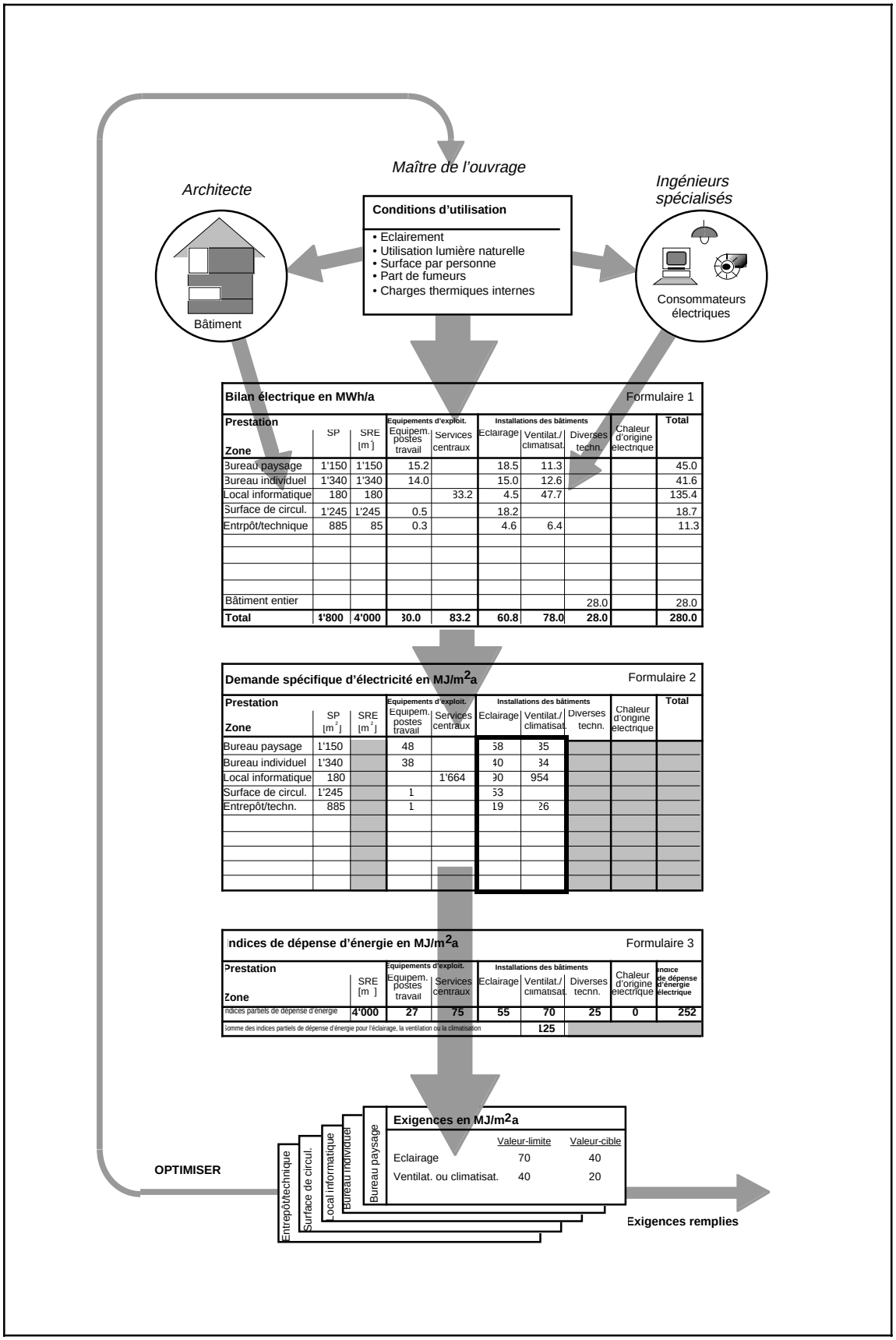


Figure 3–1: Méthode et éléments principaux de la recommandation SIA 380/4

3.2 Représentation normalisée de la demande d'électricité

3.2.1 Découpage du bâtiment en zones

La demande d'électricité est répartie entre les différentes zones. Les zones sont des surfaces de bâtiment d'utilisation analogue (p.ex. bureau, surface de vente, local d'enseignement, etc.). Les surfaces d'utilisation auxiliaires (p.ex. surfaces de circulation) constituent en règle générale des zones séparées. Lorsque des surfaces d'utilisation à priori identiques sont soumises à des heures ou conditions d'utilisation différentes (voir paragraphe 3.3), alors celles-ci doivent être découpées en zones différentes. C'est ainsi, par ex., que les bureaux paysage et les bureaux individuels appartiennent à des zones différentes, car les conditions d'utilisation de la lumière naturelle sont beaucoup moins favorables dans les bureaux paysage.

Les zones, heures et conditions d'utilisation présentées dans la recommandation aux tableaux 2 et 3 constituent la base pour le découpage d'un bâtiment en zones. Dans une phase précoce du projet, la répartition en zones est encore grossière, car les indications d'utilisation ne sont disponibles que sous forme peu différenciée. Dans le cas de bâtiments existants, la délimitation des installations de ventilation fournit déjà les premiers indices sur le découpage en zones.

La grandeur de référence pour la demande spécifique d'électricité d'une zone est la surface de plancher (brute) (SP).

3.2.2 Répartition des consommateurs par prestation

Les différents consommateurs d'électricité doivent être attribués à différentes prestations. On désigne sous le nom de prestations les domaines d'utilisation de l'électricité dans un bâtiment. L'attribution de différents consommateurs d'électricité aux différentes prestations est définie à l'annexe A1 3 de la recommandation SIA 380/4.

Pour les équipements d'exploitation, il faut distinguer entre les prestations "équipement des postes de travail" et "services centraux". On entend par "équipement des postes de travail" tous les appareils de postes de travail branchés à une prise électrique, tels que les ordinateurs personnels, les imprimantes et les copieurs. Les installations fixes, comme par exemple les centraux informatiques, les cuisines d'entreprises et installations frigorifiques commerciales appartiennent par contre aux "services centraux".

En ce qui concerne les techniques des bâtiments, on distingue entre "éclairage", "ventilation ou climatisation" et "diverses techniques". Le terme "diverses techniques" recouvre tous les consommateurs électriques ne pouvant être attribués à aucune zone particulière, tels que les agrégats auxiliaires pour le chauffage (p.ex. pompes de circulation), les installations de transport, etc.

Afin d'obtenir un bilan électrique complet, la chaleur d'origine électrique doit également être saisie. La demande en énergie sous forme d'eau chaude et de chauffage concerne plutôt le domaine couvert par la recommandation SIA 380/1 (voir tableau 1 de la recommandation SIA 380/4).

Bilan électrique en MWh/a									Formulaire 1 - SIA 380/4
Prestation			**Equip. d'exploitation**		**Installations des bâtiments**				**Total**
Zone	SP m²	SRE m²	Equipe-ment des postes de travail	Services centraux	Eclairage	Ventilation ou climatisation	Diverses techniques	Chaleur d'origine électrique	
Bureau paysage	1'150	1'150	15.2		18.5	11.3			45.0
Bureau individuel	1'340	1'340							
Local informatique	180	180							
Surface de circulaton	1'245	1'245							
Entrepôt/technique	885	85							
Total	4'800	4'000							

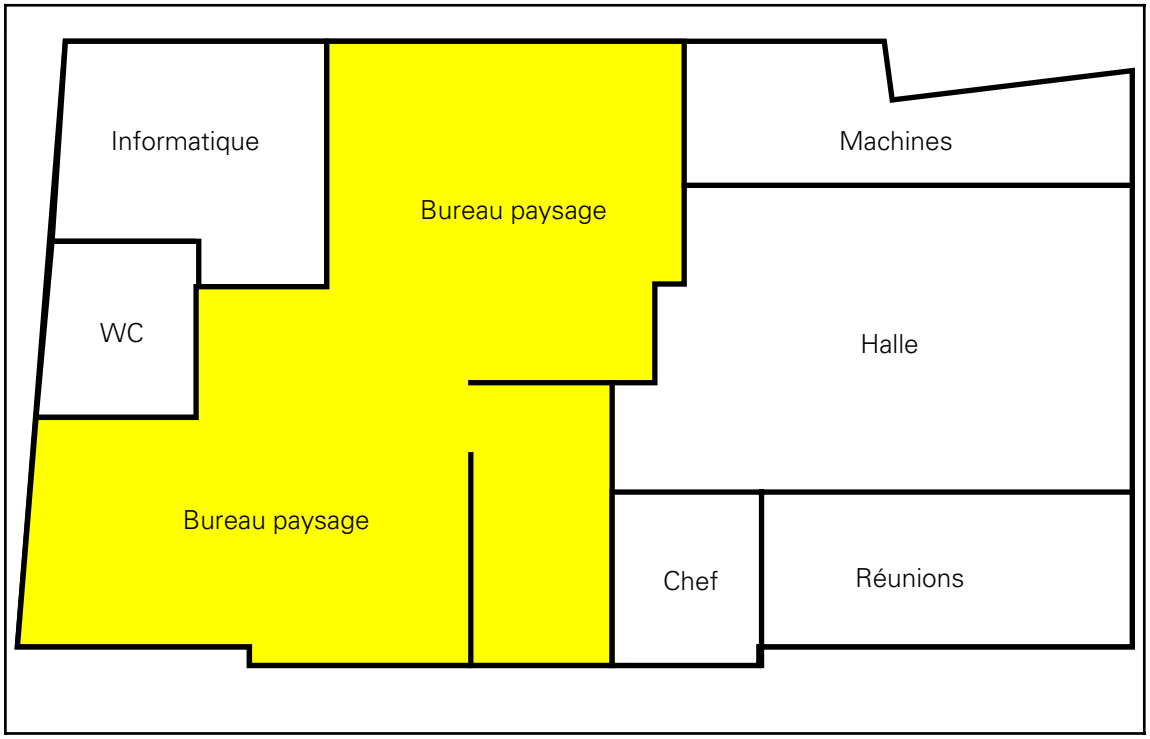


Figure 3–2: Découpage d'un étage d'immeuble et du bilan électrique correspondant en zones et prestations. (Les indications de surface du tableau supérieur se rapportent à l'ensemble du bâtiment et pas uniquement à l'étage dessiné dans la partie inférieure de la figure.)

3.2.3 Les éléments de la représentation normalisée

Les trois éléments de la représentation normalisée de la demande d'électricité sont de nouveau utilisés à l'exemple d'un immeuble bancaire de 4000 m^2 de surface de référence énergétique (voir paragraphe 3.1). La marche à suivre indiquée à la figure 3–3 correspond à la procédure de calcul effectué lorsque la demande d'électricité par zone et prestation est connue.

Bilan électrique

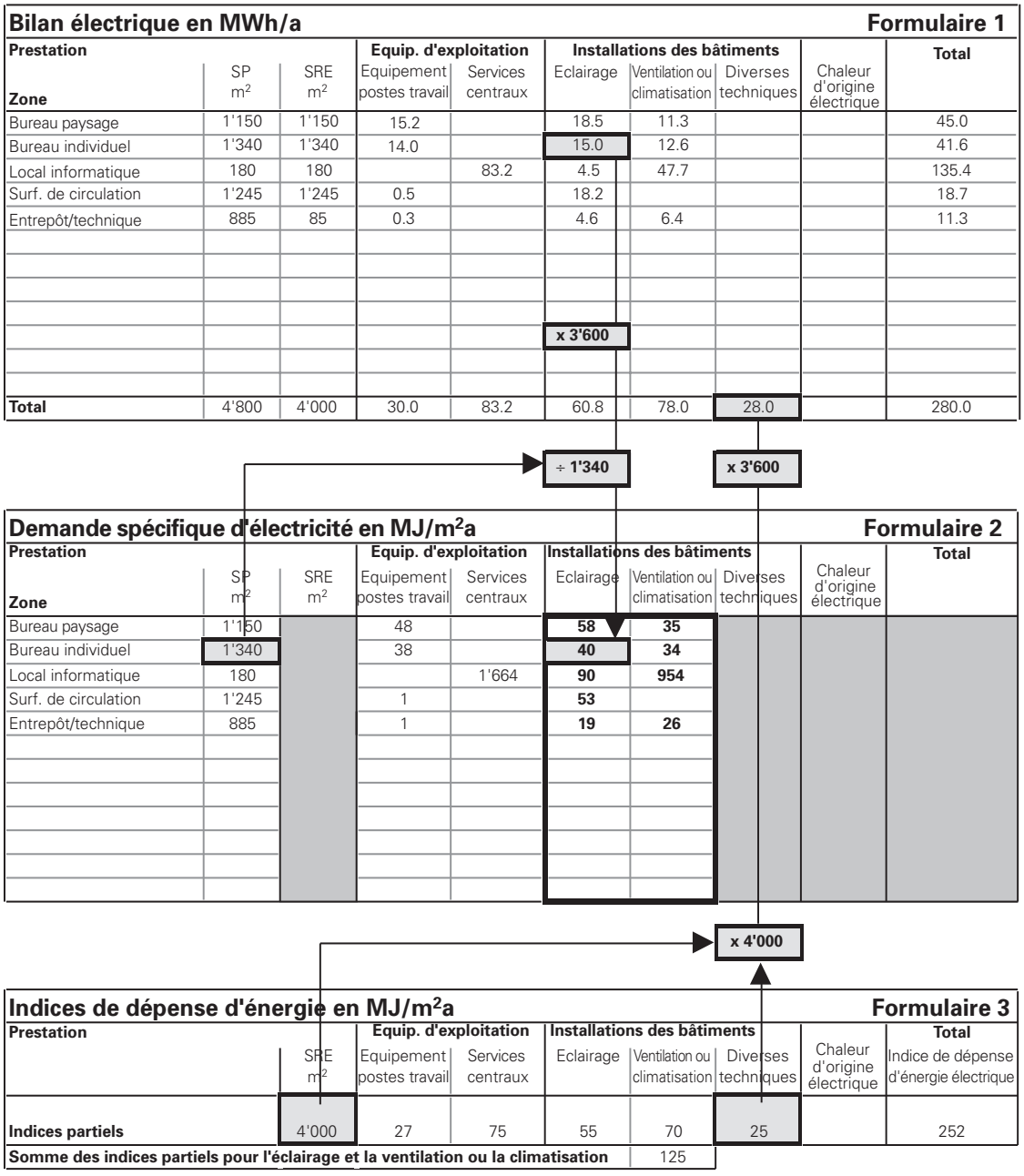
La demande annuelle d'électricité par zone et prestation est déterminée en effectuant le produit de la puissance électrique par les heures à pleine charge (voir paragraphe 4.3.2). Elle est reportée en MWh dans le formulaire 1. Le calcul est effectué sur la base d'une méthode de calcul définie au chapitre 4 ou d'après l'une de celle utilisées dans la branche.

Demande spécifique d'électricité

Les valeurs déterminées du bilan électrique sont rapportées à la surface de plancher correspondante et converties en mégajoules (MJ). C'est ainsi qu'on obtient les données pour la demande spécifique d'électricité du formulaire 2. La recommandation SIA 380/4 émet des exigences pour la demande spécifique d'électricité située dans le domaine entouré d'un trait gras de ce formulaire (prestations éclairage et ventilation ou climatisation, voir paragraphe 3.4). Pour les autres prestations, la recommandation met à disposition des valeurs d'expérience à l'annexe A3 3.

Indices de dépense d'énergie

Les indices partiels de dépense d'énergie (formulaire 3) des différentes prestations résultent de la division des lignes de total du bilan électrique (formulaire 1) par la surface de référence énergétique (SRE) du bâtiment, ainsi que par la conversion simultanée en mégajoules (MJ). L'annexe A3 4 de la recommandation présente des valeurs d'indices partiels de dépense d'énergie de bâtiments typiques s'appuyant sur des valeurs-limites et des valeurs-cibles pour l'éclairage et la ventilation ou la climatisation, respectivement sur des valeurs d'expérience pour les autres prestations. La recommandation SIA 380/4 ne pose par contre aucune exigence aux indices partiels de dépense d'énergie. Ceux-ci servent en premier lieu à une évaluation simple et rapide de la demande d'électricité d'un bâtiment.



Bilan électrique en MWh/a — **Formulaire 1**

Prestation / Zone	SP m²	SRE m²	Equip. d'exploitation: Equipement postes travail	Equip. d'exploitation: Services centraux	Installations des bâtiments: Eclairage	Installations des bâtiments: Ventilation ou climatisation	Installations des bâtiments: Diverses techniques	Chaleur d'origine électrique	Total
Bureau paysage	1'150	1'150	15.2		18.5	11.3			45.0
Bureau individuel	1'340	1'340	14.0		15.0	12.6			41.6
Local informatique	180	180		83.2	4.5	47.7			135.4
Surf. de circulation	1'245	1'245	0.5		18.2				18.7
Entrepôt/technique	885	85	0.3		4.6	6.4			11.3
					x 3'600				
Total	4'800	4'000	30.0	83.2	60.8	78.0	28.0		280.0

÷ 1'340 x 3'600

Demande spécifique d'électricité en MJ/m²a — **Formulaire 2**

Prestation / Zone	SP m²	SRE m²	Equip. d'exploitation: Equipement postes travail	Equip. d'exploitation: Services centraux	Installations des bâtiments: Eclairage	Installations des bâtiments: Ventilation ou climatisation	Installations des bâtiments: Diverses techniques	Chaleur d'origine électrique	Total
Bureau paysage	1'150		48		**58**	**35**			
Bureau individuel	1'340		38		**40**	**34**			
Local informatique	180			1'664	**90**	**954**			
Surf. de circulation	1'245		1		**53**				
Entrepôt/technique	885		1		**19**	**26**			

x 4'000

Indices de dépense d'énergie en MJ/m²a — **Formulaire 3**

Prestation	SRE m²	Equip. d'exploitation: Equipement postes travail	Equip. d'exploitation: Services centraux	Installations des bâtiments: Eclairage	Installations des bâtiments: Ventilation ou climatisation	Installations des bâtiments: Diverses techniques	Chaleur d'origine électrique	Total: Indice de dépense d'énergie électrique
Indices partiels	4'000	27	75	55	70	25		252
Somme des indices partiels pour l'éclairage et la ventilation ou la climatisation					125			

SP: surface de plancher / SRE: surface de référence énergétique / 1 MWh = 3600 MJ

Figure 3–3: Représentation normalisée de la demande d'électricité pour l'immeuble bancaire de 4000 m^2 de surface de référence énergétique (voir paragraphe 3.1)

3.3 Conditions et heures d'utilisation

Des indications pour les conditions et heures d'utilisation sont nécessaires pour pouvoir fixer des exigences selon SIA 380/4.

3.3.1 Conditions d'utilisation

Les conditions d'utilisation résultent des caractéristiques de la construction et des indications d'exploitation (voir tableaux 3–4).

Les conditions d'utilisation sont en général indiquées par le maître de l'ouvrage. Les caractéristiques de la construction sont largement influencées par l'architecture.

Pour un bureau paysage (figure 3–2), les conditions d'utilisation suivantes doivent être par exemple définies:

- Jusqu'à quel point peut-on utiliser la lumière naturelle?
- Quel sera le niveau d'éclairement?
- Quel taux d'occupation a-t-on prévu?
- La fumée est-elle autorisée?
- Quelles charges internes par les personnes, les équipements et l'éclairage faut-il prévoir?

Les conditions d'utilisation habituelles sont présentées aux tableaux 2 et 3 de la recommandation. D'autres combinaisons ou valeurs intermédiaires sont cependant également possibles.

3.3.2 Heures d'utilisation

Les heures d'utilisation indiquent la durée pendant laquelle une zone est utilisée. Par exemple, les heures d'utilisation correspondent pour des bureaux à la durée de présence du personnel, dans des magasins à la durée d'ouverture, dans des écoles à la durée de l'enseignement. On ajoute à la durée de travail une durée supplémentaire de nettoyage (pour les bureaux, les heures d'utilisation se montent donc à 11 h par jour).

Les tableaux 2 et 3 de la recommandation indiquent les heures d'utilisation pour chaque zone (bureau, surface de vente, etc.), valeurs qui sont p.ex. pour les bureaux de 2750 h/a (250 jours à 11 h/jour).

En cas d'utilisation spéciale, les heures d'utilisation doivent être adaptées de manière correspondante. Pour le bureau des courtiers d'une banque travaillant en deux équipes, il résulte donc p.ex. une valeur de 4000 h/a (250 jours à 16 h/jour), pour le magasin de vente de la gare ce sont 4380 h/a (365 jours à 12 h/jour) ou pour le local d'enseignement d'une école professionnelle avec cours du soir 2800 h/a (200 jours à 14 h/jour).

Les heures d'utilisation doivent être différenciées clairement des heures à pleine charge et des heures de fonctionnement (voir paragraphe 4.3.2).

3.3.3 Utilisation effective et vérification des performances

Dans le cadre de la vérification des performances, il s'agit d'examiner la convergence des indications d'utilisation prévues lors de la planification avec l'utilisation effective. Des différences dans les heures ou conditions d'utilisation constituent en général la cause principale d'une consommation d'électricité plus, resp. moins élevée que prévu.

Conditions d'utilisation		
	Eclairage	**Ventilation ou climatisation**
Caractéristiques de la construction	Conditions de lumière naturelle	Aération par les fenêtres / ventilation mécanique
Exigences d'exploitation	Eclairement nominal [lx] Eclairage de décoration [W/m^2]	Surface par personne [m^2/P] Fumeur/non-fumeur [-] Débit spécifique d'air neuf [$m^3/h \cdot m^2$] Charges thermiques internes [W/m^2]

Tableau 3–4: Conditions d'utilisation pour l'éclairage et la ventilation ou la climatisation

3.4 Exigences

La recommandation SIA 380/4 fixe uniquement des exigences en matière de demande spécifique d'électricité des prestations "éclairage" et "ventilation ou climatisation", parce que ce sont avant tout les équipements fournissant ces prestations sur lesquels le concepteur peut exercer une influence.

Les indications relatives à l'utilisation jouent un rôle beaucoup plus important pour la demande d'électricité que pour celle de chaleur de chauffage. Pour cette raison, la recommandation SIA 380/4 prévoit deux méthodes de détermination des exigences (voir aussi figure 3–5):

- Les valeurs-limites et valeurs-cibles peuvent être extraites directement des tableaux 2 et 3, pour les heures et conditions d'utilisation qui y sont indiquées sur ceux-ci (voir paragraphe 3.4.2).
- En cas de conditions et d'heures d'utilisation différentes, les exigences doivent être calculées (voir paragraphe 3.4.3) à partir des valeurs indicatives de la puissance spécifique et des heures à pleine charge (recommandation, annexe A2). Sur la base de cette méthode, il est possible de déduire les exigences pour les zones non citées dans la recommandation.

Les exigences en matière de demande d'électricité pour "l'éclairage" et "la ventilation ou climatisation" ne doivent pas être respectées séparément pour chaque prestation et zone. Aussi longtemps qu'il en résulte globalement une demande d'électricité moins élevée, des compensations entre exigences d'éclairage et de ventilation ou de climatisation ainsi qu'entre différentes zones sont acceptables (recommandation SIA 380/4, chiffre 3 12).

3.4.1 Valeurs-limites et valeurs-cibles

La recommandation SIA 380/4 émet des exigences sous forme de valeurs-limites et valeurs-cibles (figure 3–6).

Les valeurs-limites sont atteignables et économiquement défendables en faisant appel à des composants et à des systèmes conformes à la technique actuelle. Elles doivent être respectées pour les constructions et les installations neuves, ainsi que pour les équipements d'exploitation remplacés lors d'une rénovation.

Les valeurs-cibles peuvent être atteintes par une combinaison judicieuse de composants et de systèmes économes en énergie. La faisabilité et la justification économiques seront vérifiées de cas en cas. Il faut chercher à s'approcher des valeurs-cibles pour les constructions et les installations neuves.

Les valeurs de projet atteignables en pratique se situent normalement entre les valeurs-limites et les valeurs-cibles.

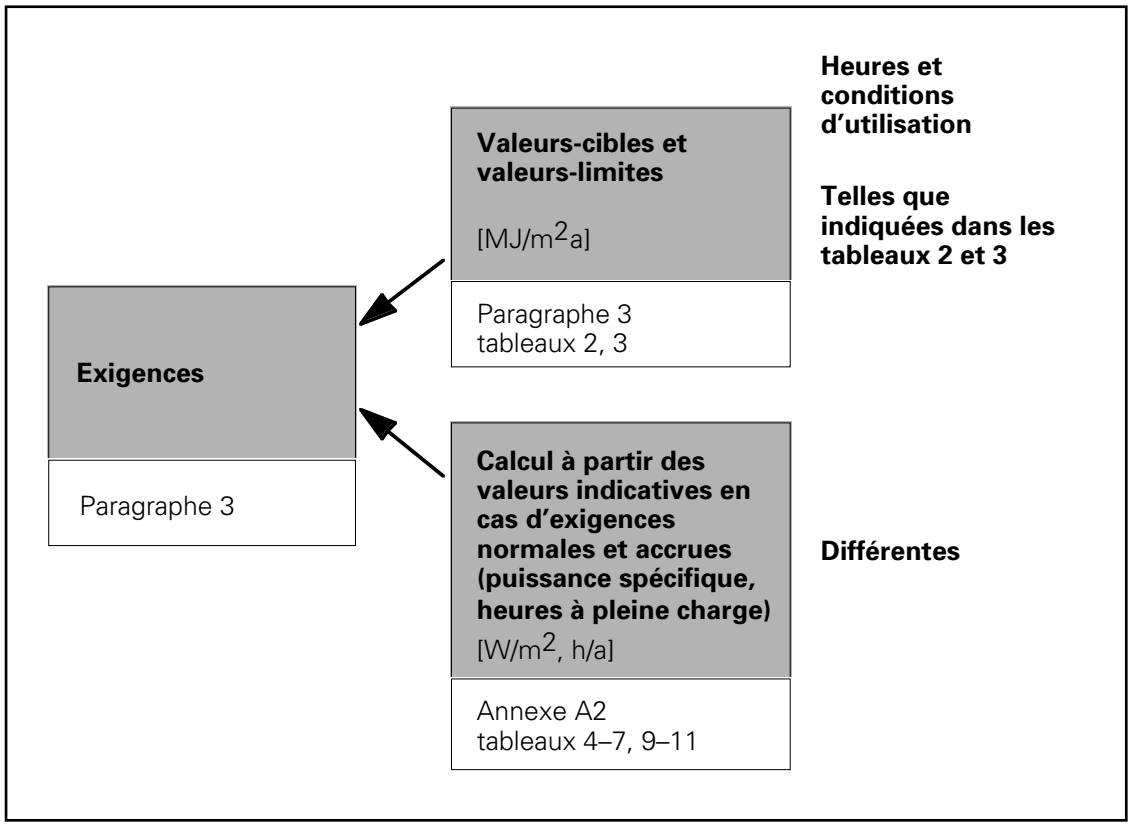


Figure 3–5: Les deux procédés de calcul pour la détermination des exigences selon recommandation SIA 380/4

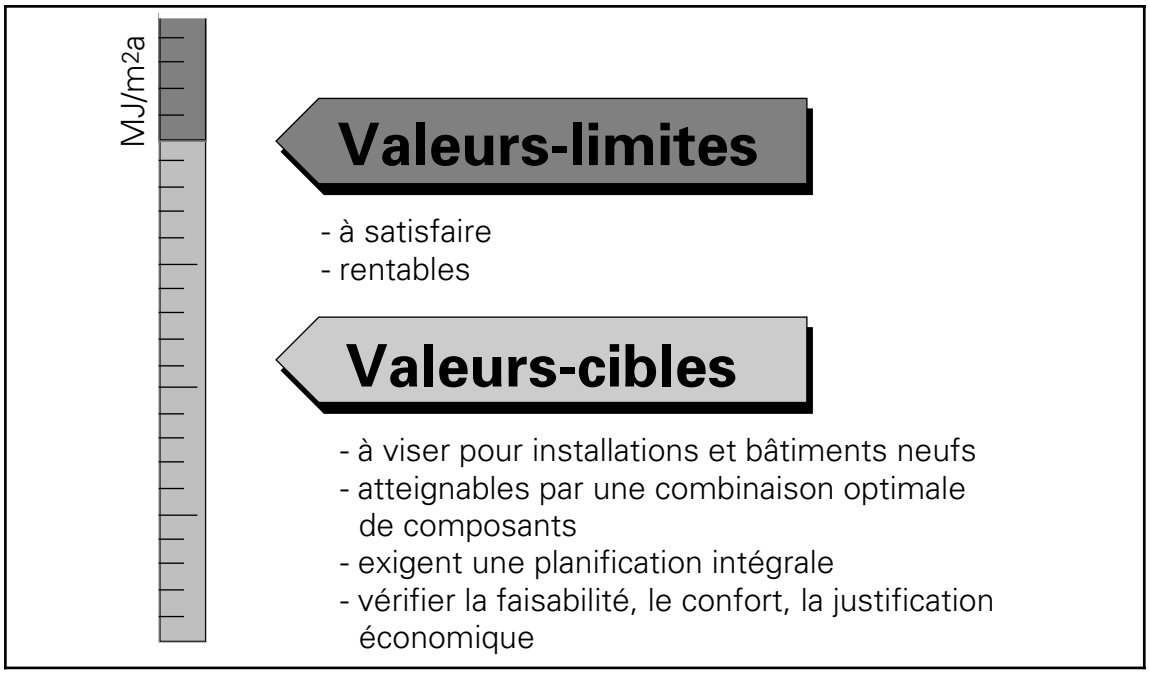


Figure 3–6: Niveaux d'exigences pour les valeurs-limites et les valeurs-cibles

3.4.2 Exigences concernant les heures et conditions d'utilisation selon tableaux 2 et 3 de la recommandation

Lorsque les heures et conditions d'utilisation indiquées correspondent aux valeurs des tableaux 2 et 3 de la recommandation, les exigences peuvent être lues directement sur ces tableaux.

Les tableaux 3–7 et 3–8 ci-contre indiquent les heures et conditions d'utilisation pour l'éclairage et la ventilation ou climatisation pour la zone bureau paysage d'un immeuble bancaire du paragraphe 3.1, ainsi que les valeurs-limites et valeurs-cibles correspondantes, sur la base des tableaux 2 et 3 de la recommandation.

Les valeurs d'objets de la demande spécifique d'électricité pour l'éclairage des bureaux paysage indiquées à la figure 3–3 sont de 58 MJ/m^{2}a, resp. de 35 MJ/m^{2}a et se situent entre les valeurs-limites et les valeurs-cibles, ce qui fait que les exigences de la recommandation SIA 380/4 sont ainsi remplies.

Conditions d'utilisation					
Heures d'utilisation:	2'750	h/a			
Eclairement nominal:	500	lx			
Utilisation de la lumière naturelle:	partielle				
Demande spécifique d'électricité E_E					
Exigence:	**Valeur-limite**		**Valeur-cible**		Recommandation
	70	MJ/m^2a	40	MJ/m^2a	Tableau 2
Valeur d'objet déterminée: (voir figure 3–3)	*58*	*MJ/m^2a*	*Exigences remplies!*		

Tableau 3–7: Détermination des exigences selon tableau 2 de la recommandation SIA 380/4 pour l'éclairage des bureaux paysage d'un immeuble bancaire

Conditions d'utilisation					
Heures d'utilisation:	2750	h/a			
Surface par personne:	10	m^2/P			
Débit spécifique d'air neuf:	–				
Pourcentage de fumeurs:	Non-fumeur				
Charges thermiques internes:	30	W/m^2			
Demande spécifique d'électricité E_{VC}					
Exigences:	**Valeur-limite**		**Valeur-cible**		Recommandation
	40	MJ/m^2a	20	MJ/m^2a	Tableau 3
Valeur d'objet déterminée: (voir figure 3–3)	*35*	*MJ/m^2a*	*Exigences remplies!*		

Tableau 3–8: Détermination des exigences selon tableau 3 de la recommandation SIA 380/4 pour la ventilation ou la climatisation des bureaux paysage d'un immeuble bancaire

3.4.3 Détermination des exigences pour les cas où les heures et conditions d'utilisation diffèrent des valeurs indicatives de l'annexe 2 de la recommandation

Lorsque les heures et conditions d'utilisation s'écartent des indications des tableaux 2 et 3 de la recommandation, les valeurs-limites et valeurs-cibles pour la demande spécifique d'électricité doivent être déterminées à partir des valeurs indicatives de l'annexe A2 de la recommandation.

Les valeurs-limites sont déduites des valeurs indicatives en cas d'exigences normales et les valeurs-cibles des valeurs indicatives en cas d'exigences accrues selon la formule suivante:

Demande spécif. d'électr.	**=**	**puiss. spécif.**	**x**	**heures à pl. charge**	**x**	**0.0036**	**x**	**0.9**
[MJ/m^{2}a]		[W/m^2]		[h/a]		[MJ/Wh]		[–]

Par le fait que la puissance spécifique est rapportée à la surface nette de plancher, la formule ci-dessus contient un facteur de correction de 0.9 pour la conversion de la surface nette de plancher SN vers la surface de plancher SP.

Exigences pour l'éclairage

Dans le cas de l'éclairage, on détermine la puissance spécifique en fonction de l'éclairement (recommandation, tableau 4). Pour des utilisations telles que les locaux de vente et les restaurants, il est nécessaire de prendre en considération un éventuel éclairage de décoration supplémentaire. Les heures d'utilisation à pleine charge dépendent de l'utilisation de la lumière naturelle et de l'intensité d'utilisation des locaux (recommandation, tableau 5).

La détermination des exigences, pour des conditions d'utilisation s'écartant des indications des tableaux 2 et 3 de la recommandation SIA 380/4, est expliquée ci-dessous à l'exemple de l'éclairage d'une surface de circulation dans un bâtiment bancaire tel que décrit au paragraphe 3.1: par le fait que, dans cette zone de circulation, se trouve également installés les postes de travail servant à la réception, il est donc nécessaire de disposer ici d'un éclairement de 200 lx. Le tableau 3–9 présente la détermination des exigences sur la base des valeurs indicatives de l'annexe A2 de la recommandation.

La valeur d'objet pour la demande spécifique d'électricité de 53 MJ/m^{2}a indiquée à la figure 3–3 pour des surfaces de circulation se trouve ainsi, pour des conditions d'utilisation effectives, en-dessous de la valeur-limite déduite des valeurs indicatives.

Exigences pour la ventilation ou la climatisation

Les exigences vis-à-vis de la demande spécifique d'électricité pour la ventilation ou la climatisation se composent des valeurs indicatives pour le transport de l'air et pour sa réfrigération.

La demande spécifique d'électricité pour le transport de l'air est déterminée par les conditions d'utilisation "occupation par les personnes" et "fumeur/non-fumeur"; dans des zones sans occupation par des personnes définies, elle est directement déterminée par le débit spécifique d'air extrait. La part de la réfrigération dépend des charges thermiques internes.

Dans le tableau 3–10, on détermine les exigences "ventilation ou climatisation" à l'exemple d'un bureau de courtier de bourse avec 4000 heures d'utilisation par an.

Les puissances spécifiques pour le transport de l'air et la réfrigération peuvent être tirées, pour des conditions d'utilisation prescrites, des tableaux 6 et 10 de l'annexe A2 de la recommandation. Les heures à pleine charge des tableaux 9 et 11 sont converties par une règle de trois de 2750 à 4000 h/a, proportionnellement aux heures d'utilisation plus élevées.

Conditions d'utilisation:					
Heures d'utilisation:	2750	h/a			
Eclairement:	200	lx			
Utilisation de la lumière naturelle:	aucune				
Valeurs indicatives:	**Exigences normales**		**Exigences accrues**		Recommandation
Puissance spécifique p_E	7.0	W/m^2	5.5	W/m^2	Tableau 4
Heures à pleine charge h_E:	2750	h/a	2400	h/a	Tableau 5
Demande spécifique d'électricité E_E:	$E_E = p_E \times h_E \times 0.0036 \times 0.9$				
Exigence:	**Valeur-limite**		**Valeur-cible**		
	62	MJ/m^{2}a	43	MJ/m^{2}a	
Valeur d'objet déterminée: (cf. figure 3–3)	*53*	*MJ/m^{2}a*	*(Exigences satisfaites!)*		

Tableau 3–9: Détermination de la demande spécifique d'électricité en fonction des exigences pour l'éclairage d'une surface de circulation avec réception d'un immeuble bancaire, effectuée à partir des valeurs indicatives de l'annexe A2 de la recommandation SIA 380/4

Conditions d'utilisation:					
Heures d'utilisation:	4000	h/a			
Surface par personne:	10	m^2/P[1)]			
Débit spéc. d'air neuf:	–	m^3/h m^2 [1)]			
Proportion de fumeurs:	100 %	fumeurs			
Charges therm.internes:	30	W/m^2			
Valeurs indicatives:	**Exigences normales**		**Exigences accrues**		Recommandation
Puissance spécifique p_{TA}:	4.2	W/m^2	2.1	W/m^2	Tableau 6
Heures à pleine charge h_{TA}:	4000	h/a	2900	h/a	Tableau 9
Puissance spécifique p_R:	12.0	W/m^2	10.0	W/m^2	Tableau 10
Heures à pleine charge h_R:	800	h/a	580	h/a	Tableau 11
Demande spécifique d'électricité E_{VC}:	$E_{VC}=(p_{TA} \times h_{TA} + p_R \times h_R) \times 0.0036 \times 0.9$				
Exigence:	**Valeur-limite**		**Valeur-cible**		
	86	MJ/m^{2}a	39	MJ/m^{2}a	

Tableau 3–10: Détermination de la demande spécifique d'électricité pour différentes conditions pour la ventilation ou la climatisation de bureaux de courtiers d'une banque à partir des valeurs indicatives de l'annexe A2 de la recommandation SIA 380/4

[1)] Une seule des deux indications est nécessaire.

3.5 Marche à suivre pour les études, tâches et prestations

Les étapes de la marche à suivre pour l'application de la recommandation SIA 380/4 sont représentées à la figure 1 de la recommandation.

Si les valeurs d'objet n'atteignent pas les exigences émises, la demande d'électricité doit être optimisée pour chacune des zones. Dans ce cas, il est nécessaire d'intégrer tant les indications d'utilisation que les solutions architectoniques et de techniques des installations dans le processus d'optimisation.

Par la suite, la marche à suivre est indiquée pour les différentes phases du projet. La figure 3–11 montre les principales étapes de la marche à suivre.

3.5.1 Etudes préalables

Partant des indications du maître de l'ouvrage pour un bâtiment et son utilisation, on détermine dans une première phase les heures et conditions d'utilisation pour le bâtiment, respectivement pour les zones de celui-ci.

La situation, l'orientation et la structuration d'un bâtiment ont une influence notable sur sa consommation d'électricité. L'évaluation énergétique et la vérification des caractéristiques constructives et techniques, p.ex. dans le cadre d'un concours d'architecture ou d'installations des bâtiments, représente donc une étape importante de la phase d'études préalables.

Habituellement, dans la phase des études préalables, le bilan électrique est établi sur la base des exigences à remplir, respectivement à partir de valeurs d'expérience telles que présentées à l'annexe A3 de la recommandation SIA 380/4. De cette manière, il est possible d'estimer à un stade précoce et avec des moyens limités la consommation d'électricité ultérieure du bâtiment. Cette démarche est décrite plus en détail au paragraphe 4.2.

Pour les bâtiments existants, les études préalables comportent en règle générale un constat de l'état du bâtiment avec analyse de la consommation d'électricité.

3.5.2 Avant-projet

Dans le cadre de l'avant-projet, les caractéristiques constructives et d'exploitation visant à définir des installations optimisées sur le plan de la demande d'énergie, du coût d'exploitation et d'investissement, doivent être réalisées en collaboration avec le maître de l'ouvrage et l'architecte.

Dans ce but, il faut p.ex. étudier des variantes d'optimisation de l'utilisation de la lumière naturelle et de la réduction de la température estivale des locaux. Les besoins en équipements d'exploitation et en installations et systèmes des bâtiments doivent être clarifiés.

Le choix du principe pour l'éclairage et la ventilation ou la climatisation constitue le point central de la phase d'avant-projet. Sur la base de concepts d'utilisation et d'exploitation détaillés, les indications pour les équipements d'exploitation doivent être concrétisées et leurs conséquences sur le choix du principe de ventilation ou de climatisation doivent être vérifiées. Il faut alors déterminer les charges thermiques internes de chaque zone qui serviront de valeur de base pour la suite des études.

Dans les zones où il sera nécessaire de prévoir des installations de ventilation ou de climatisation, il faut créer les conditions favorables permettant d'optimiser les pertes de charge du transport de l'air.

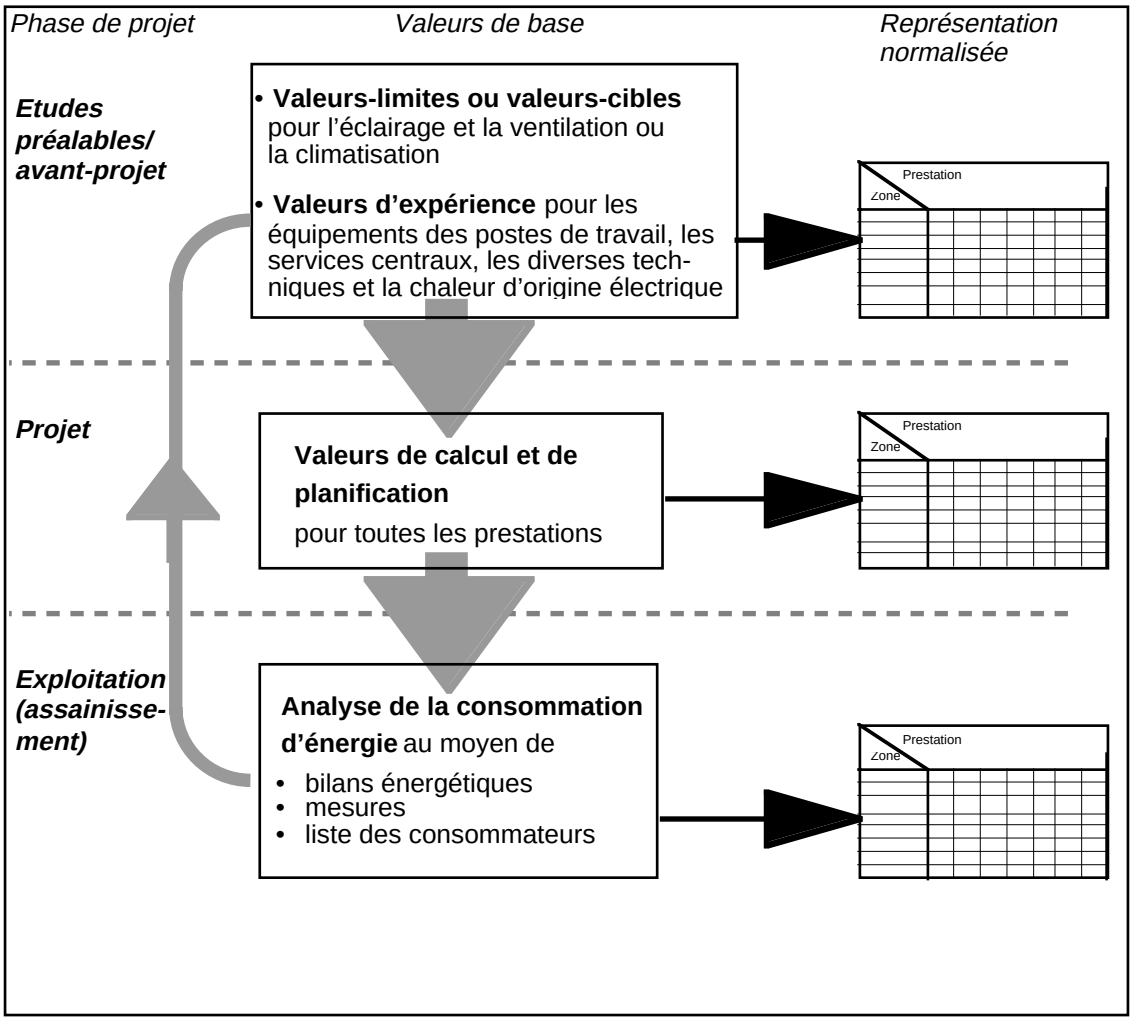


Figure 3–11: Application de la recommandation SIA 380/4 à différentes phases du projet

Dans l'avant-projet il est également nécessaire de définir un principe de mesure (voir exemple au paragraphe 5.4.4), tenant compte des objectifs de consommation à satisfaire et des données d'exploitation correspondantes.

Dans la phase d'avant-projet, le bilan électrique peut être calculé sur la base du procédé simplifié selon paragraphe 4.3. Celui-ci permet de déterminer rapidement la demande d'électricité pour chacune des zones, à partir d'installations concrètes.

3.5.3 Projet d'exécution

Dans le cadre du projet d'exécution, on effectue le dimensionnement des installations et le choix des composants. La demande d'électricité peut être optimisée en faisant varier le dimensionnement et le mode d'exploitation des différentes installations.

Dans cette phase, la demande d'électricité est déterminée sur la base des données du projet des installations. A côté des méthodes de calcul simplifiées (voir paragraphes 4.3 et 4.4), des procédés de calcul détaillé sont également disponibles pour cette phase (voir paragraphe 4.5).

3.5.4 Réalisation

Les solutions optimisées dans le cadre de la planification doivent être intégrées dans les mises en soumission, réalisées de façon conséquente durant l'exécution et contrôlées lors des réceptions.

C'est dans cette phase que, basé sur le principe de mesure, un concept d'exploitation optimale est mis sur pied. Celui-ci doit contenir des indications d'objectifs quantitatifs concernant la consommation d'électricité à respecter.

3.5.5 Vérification des performances

Dans la phase d'exploitation, le succès de la planification et de l'optimisation de la demande d'électricité peuvent être vérifiés. Le meilleur moyen d'effectuer la vérification des performances consiste à l'effectuer en parallèle avec l'optimisation de l'exploitation des installations.

L'objectif principal de cette vérification des performances réside dans la comparaison entre la demande d'électricité calculée et la demande réelle. A la fin de la phase d'optimisation de l'exploitation, la preuve doit être apportée que les données de projet ont été tenues ou alors les écarts doivent être justifiés. En cas d'écarts importants, les conditions effectives d'utilisation doivent être comparées avec les indications d'utilisation considérées dans la planification.

Les instruments disponibles pour la vérification des performances sont: la liste des consommateurs, les bilans énergétiques, les mesures (autant que possible par l'intermédiaire d'un système de gestion technique avec évaluation préprogrammée). La vérification des performances sera d'autant plus simple et significative que la saisie des données de consommation aura été bien préparée durant les études.

En phase d'exploitation, la représentation normalisée de la demande d'électricité sert d'instrument de contrôle. Elle assure également une vue d'ensemble claire de l'évolution de la consommation.

3.5.6 Obligations et prestations des personnes concernées

Au chapitre 4 de la recommandation SIA 380/4, en complément aux règlements concernant les prestations et honoraires de la SIA, on présente les obligations et prestations des mandataires pour ce qui concerne la consommation d'électricité.

La figure 3–12 donne une vue d'ensemble des personnes concernées et en illustre les obligations.

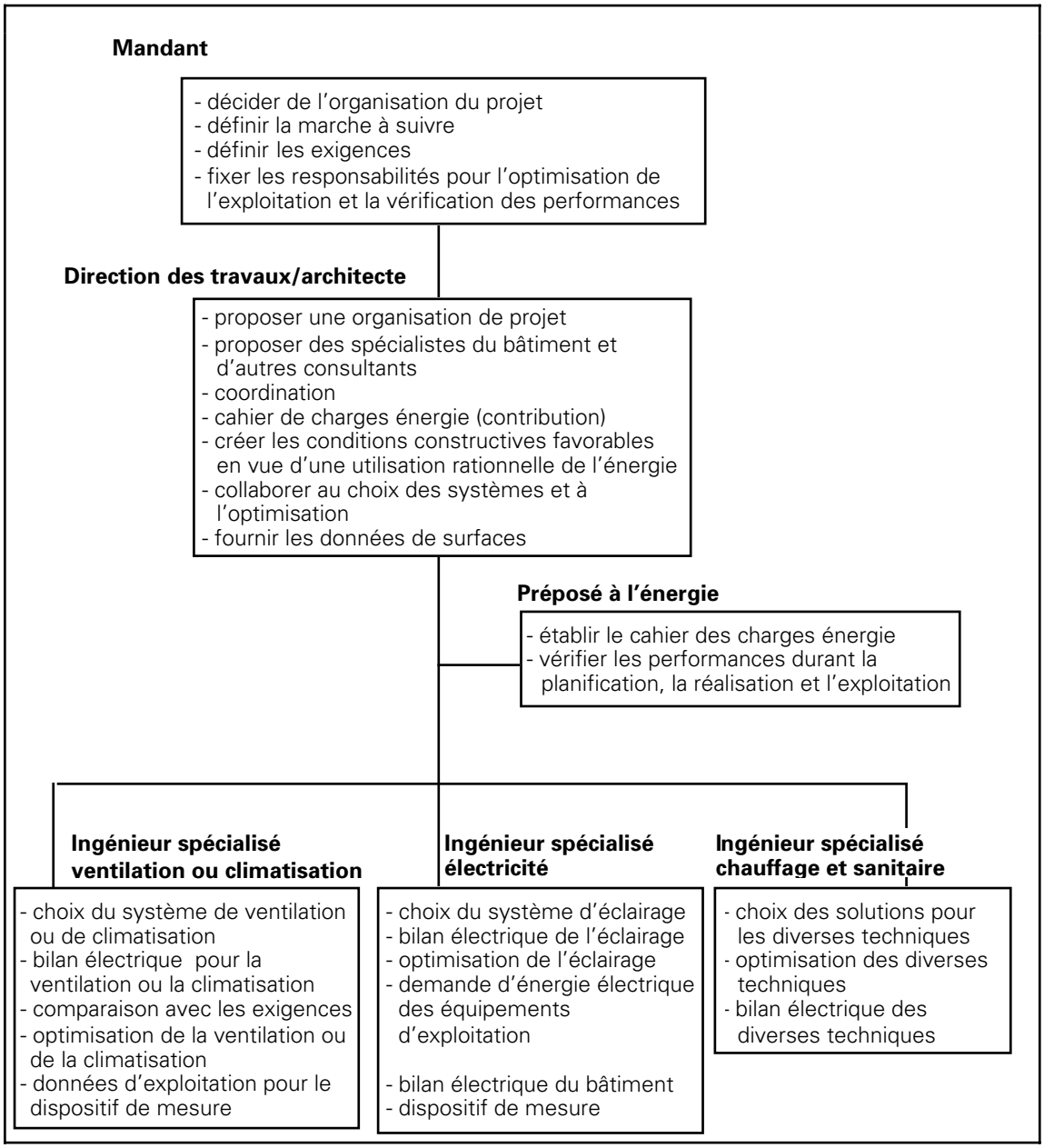


Figure 3–12: Tâches et prestations des membres de l'équipe de projet selon recommandation SIA 380/4, chapitre 4.

4. Détermination de la demande d'électricté

4.1 Vue d'ensemble des méthodes de calcul 29

4.2 Estimation sur la base de valeurs d'expérience 30

4.3 Calcul simplifié à partir de la puissance spécifique, des facteurs d'exploitation et des heures à pleine charge 32

4.3.1 Méthode 32
4.3.2 Modèle de calcul et formules 34
4.3.3 Calcul de la demande d'électricité de l'équipement des postes de travail (PT) 36
4.3.4 Calcul de la demande d'électricité pour l'éclairage général (EG) 38
4.3.5 Calcul de la demande d'électricité pour le transport de l'air (TA) 40
4.3.6 Calcul de la réfrigération de l'air (RA) 42
4.3.7 Calcul de la réfrigération de l'eau (RE) 44
4.3.8 Calcul des diverses techniques (DT) 46

4.4 Détermination à partir de données de projet d'installations des bâtiments 48

4.4.1 Modèle de calcul et formules de base 48
4.4.2 Détermination de la demande d'électricité pour l'éclairage 48
4.4.3 Calcul de la demande d'électricité pour la ventilation ou la climatisation 50

4.5 Indications concernant les méthodes de calcul détaillé 52

4.5.1 Procédés de calcul détaillé pour l'éclairage 52
4.5.2 Procédés de calcul détaillé pour la ventilation ou la climatisation 54

4.1 Vue d'ensemble des méthodes de calcul

La recommandation SIA 380/4 laisse libre le choix de la méthode de calcul de la demande d'électricité. Sous chiffre 2 2, on exige simplement que la détermination de la demande d'électricité soit explicite. Le calcul doit donc être toujours effectué dans la représentation normalisée.

Pour les différentes phases du projet, on dispose de différentes méthodes de calcul. Celles-ci permettent d'accroître la précision du pronostic de la demande d'électricité au fur et à mesure de l'avancement des études.

Dans les paragraphes suivants, on présente plus en détail les 3 procédés suivants :

- Estimation sur la base de valeurs d'expérience (paragraphe 4.2)
- Calcul simplifié sur la base de la puissance spécifique, de facteurs d'exploitation et d'heures à pleine charge (paragraphe 4.3)
- Détermination à partir de données de projet d'installations du bâtiment (paragraphe 4.4)

De plus, des indications sont fournies concernant des méthodes de calcul détaillé (paragraphe 4.5).

4.2 Estimation sur la base de valeurs d'expérience

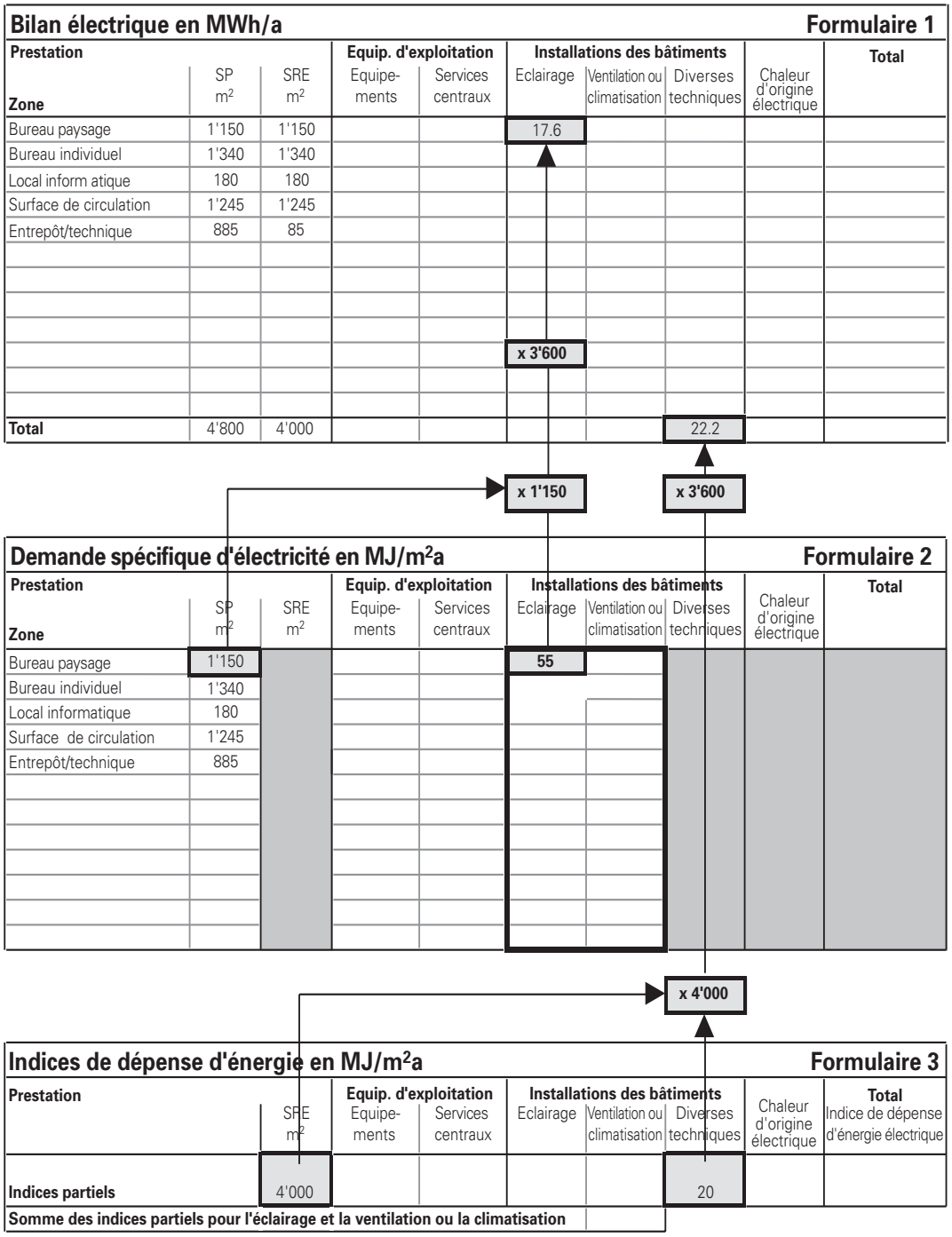
Une première estimation grossière de la demande d'électricité peut être effectuée à partir d'indices partiels de dépense d'énergie, à l'annexe A3 4 de la recommandation SIA 380/4. Par multiplication des indices partiels de dépense d'énergie par la surface de référence énergétique du bâtiment (et conversion des MJ en MWh), on obtient rapidement de premiers repères sur la demande d'électricité prévue.

Une estimation un peu plus précise est possible si le bâtiment est partagé en zones et si un bilan électrique complet est effectué sur la base de valeurs-limites ou des valeurs-cibles pour la demande spécifique d'électricité pour l'éclairage et la ventilation ou climatisation (tableaux 2 et 3 de la recommandation) et sur la base de valeurs d'expérience pour l'équipement des postes de travail (annexe A3 3 de la recommandation).

Par ce procédé, on introduit tout d'abord les valeurs citées dans le formulaire 2 (demande spécifique d'électricité) resp. le formulaire 3 (indices de dépense d'énergie), puis on multiplie ceci par les surfaces de plancher des zones correspondantes resp. des surfaces de référence énergétique et obtient (après conversion des MJ en MWh) les données pour le bilan électrique (formulaire 1). Le calcul se déroule donc en sens inverse de ce qui est indiqué à l'annexe A3 1 de la recommandation et au paragraphe 3.2.3 de ce document.

Le tableau 4–1 montre un exemple pour une telle estimation de la demande d'électricité (exemple du paragraphe 3.1). La demande spécifique d'électricité pour l'éclairage des bureaux paysage est introduite avec une valeur de 55 MJ/m^2a, correspondant à la moyenne entre la valeur-limite et la valeur-cible. De là, on peut déduire, pour la surface de plancher donnée de 1'150 m^2, une demande d'électricité pour l'éclairage des bureaux paysage de 17.6 MWh/a. Pour l'indice partiel de dépense d'énergie pour les diverses techniques, on admet, conformément aux valeurs d'expérience de l'annexe A3 4 de la recommandation, une valeur de 20 MJ/m^2a (moyenne entre les indications pour immeubles de bureaux sous A3 42 et A3 43), dont il résulte une demande d'énergie électrique de 22.2 MWh/a pour les diverses techniques. De cette manière, le bilan électrique est rempli cellule par cellule jusqu'à ce qu'il soit complet.

Au paragraphe 5.2 se trouve un autre exemple pour l'estimation du bilan électrique sur la base de valeurs d'expérience.



SP: surface de plancher / SRE: surface de référence énergétique / 1 MWh = 3600 MJ

Tableau 4–1: Estimation de la demande d'électricité sur la base de valeurs d'expérience pour la demande spécifique d'électricité et pour les indices partiels de dépense d'énergie à partir de l'annexe A3 de la recommandation SIA 380/4

4.3 Calcul simplifié à partir de la puissance spécifique, des facteurs d'exploitation et des heures à pleine charge

Le calcul simplifié présenté ci-dessous est une méthode supplémentaire parmi les nombreuses possibles permettant de déterminer la demande d'électricité d'un bâtiment sans devoir tout d'abord établir une liste détaillée des consommateurs. Un exemple complet de calcul par cette méthode est présenté à l'annexe A2.

Dans cette méthode, la demande spécifique d'électricité est déterminée cellule par cellule pour chaque prestation d'une zone. A l'aide de cet instrument simple, l'influence des conditions d'exploitation ainsi que des données concernant les installations sur la demande d'électricité peut être rapidement évaluée. Il est ainsi possible de montrer, en particulier, l'influence des charges thermiques internes sur la demande d'électricité pour la ventilation ou la climatisation.

4.3.1 Méthode

Le calcul est effectué d'après les étapes de la marche à suivre selon tableau 4–2. Avant de procéder au calcul, il est nécessaire de subdiviser le bâtiment en zones, dont les surfaces doivent être déterminées. De plus, pour chaque zone, les heures et conditions d'utilisation doivent être fixées.

En première étape, on calcule la demande spécifique d'électricité pour les équipements d'exploitation et l'éclairage. Les résultats de ce calcul sont nécessaires pour la détermination des charges thermiques internes, qui fournissent les bases pour le calcul de la demande d'électricité pour la ventilation ou la climatisation.

Après avoir effectué le choix du système, on détermine séparément la demande spécifique d'électricité pour les différentes fonctions de ventilation ou de climatisation. En plus du transport de l'air, il faut considérer une éventuelle réfrigération effectuée, suivant le système considéré, au moyen d'air et/ou d'eau. Les contributions de ces postes sont ajoutées à la demande spécifique d'électricité pour la ventilation ou la climatisation.

La demande d'électricité pour les diverses techniques est calculée pour l'ensemble du bâtiment. La demande de chaleur d'origine électrique est déterminée selon la recommandation SIA 380/1 .

A partir de la demande spécifique d'électricité (formulaire 2), on détermine finalement les données pour les formulaires 1 et 3 suivant le schéma de calcul du tableau 4–1 (paragraphe 4.2).

Etapes	Bases
Bases de calcul	
1. Subdiviser le bâtiment ou la partie de bâtiment en zones, en fonction des différentes utilisations de l'électricité	
2. Fixer les conditions et heures d'utilisation pour chaque zone	Recommandation, chapitre 3
Demande spécifique d'électricité	Formulaire 2
A partir de la puissance spécifique et des heures à pleine charge, calculer la demande spécifique d'électricité pour toutes les prestations:	Chapitre 4.3.2, formule A
3. Calculer la demande spécifique d'électricité pour «l'équipement des postes de travail» (PT)	Chapitre 4.3.3
4. Calculer la demande spécifique d'électricité pour «les services centraux» (SC)	aucun
5. Calculer la demande spécif. d'électricité pour «l'éclairage général» (EG)	Chapitre 4.3.4
6. Calculer la demande spécifique d'électricité pour «l'éclairage supplémentaire» (ES)	aucun
7. Déterminer les charges thermiques internes provenant de l'occupation par des personnes, des équipements d'exploitation et de l'éclairage	Recommandation, annexe A2 23
8. Calculer la demande spécifique d'électricité pour «le transport de l'air» (TA)	Chapitre 4.3.5
9. Calculer la demande spécifique d'électricité pour «la réfrigération de l'air» (RA) y compris une éventuelle humidification	Chapitre 4.3.6
10. Calculer la demande spécifique d'électricité pour «la réfrigération de l'eau» (RE)	Chapitre 4.3.7
11. Calculer le total de la demande spécifique d'électricité pour «la ventilation ou climatisation» à partir des contributions du transport de l'air, de la réfrigération de l'air et de la réfrigération de l'eau.	
12. Calculer la demande spécifique d'électricité pour «les diverses techniques» (DT)	Chapitre 4.3.8
13. Calculer la demande spécifique d'électricité pour «la chaleur d'origine thermique»	SIA 380/1
Bilan électrique	Formulaire 1
14. Déterminer la demande d'électricité à partir de la demande spécifique et des surfaces de plancher correspondantes	Chapitre 4.3.2, formule B

Indices de dépense d'énergie	Formulaire 3
15. Déterminer les indices partiels de dépense d'énergie à partir de la demande d'énergie par prestation et par unité de surface de référence énergétique	Chapitre 4.3.2, formule C

Tableau 4–2: Etapes de la marche à suivre pour un calcul simplifié du bilan électrique en représentation normalisée à partir de la puissance spécifique, des facteurs d'exploitation et des heures à pleine charge

4.3.2 Modèle de calcul et formules

Le calcul est effectué à partir de puissances spécifiques et d'heures à pleine charge. Les heures à pleine charge considérées résultent du produit des heures d'utilisation (voir paragraphe 3.3.2) et de ce que l'on appelle facteurs d'exploitation.

Le calcul est effectué en suivant la marche à suivre pour la détermination des exigences à partir des valeurs indicatives selon chiffre 3 3 de la recommandation SIA 380/4. Cependant, le calcul simplifié de la demande d'électricité sur la base de la présente méthode et la dérivation des valeurs-limites et des valeurs-cibles à partir des valeurs indicatives selon chiffre 3 3 de la recommandation doivent être clairement différenciés.

La figure 4–3 montre les relations existant entre les éléments du calcul simplifié. Des indications concernant les facteurs d'exploitation se trouvent à l'annexe A2.

Le calcul de la demande spécifique d'électricité est effectué pour chaque prestation et chaque zone au moyen de la formule de base suivante:

E =	**p x h x 0.0036 x 0.9** *	
p	La **puissance spécifique** correspond à la moyenne durant un quart d'heure de la puissance spécifique à pleine charge d'une prestation, rapportée à la surface nette de plancher.	W/m^2
h	Les **heures à pleine charge** désignent la durée équivalente annuelle à pleine charge d'une prestation.	h/a
*	Facteur de conversion entre surface nette de plancher et surface de plancher. La surface nette de plancher d'une zone correspond à env. 90 % de la surface (brute) de plancher.	-

Formule A: Calcul de la demande spécifique d'électricité E [MJ/m^2a] à partir de la puissance spécifique et des heures à pleine charge

La demande d'électricité est dérivée de la manière suivante à partir de la demande spécifique d'électricité:

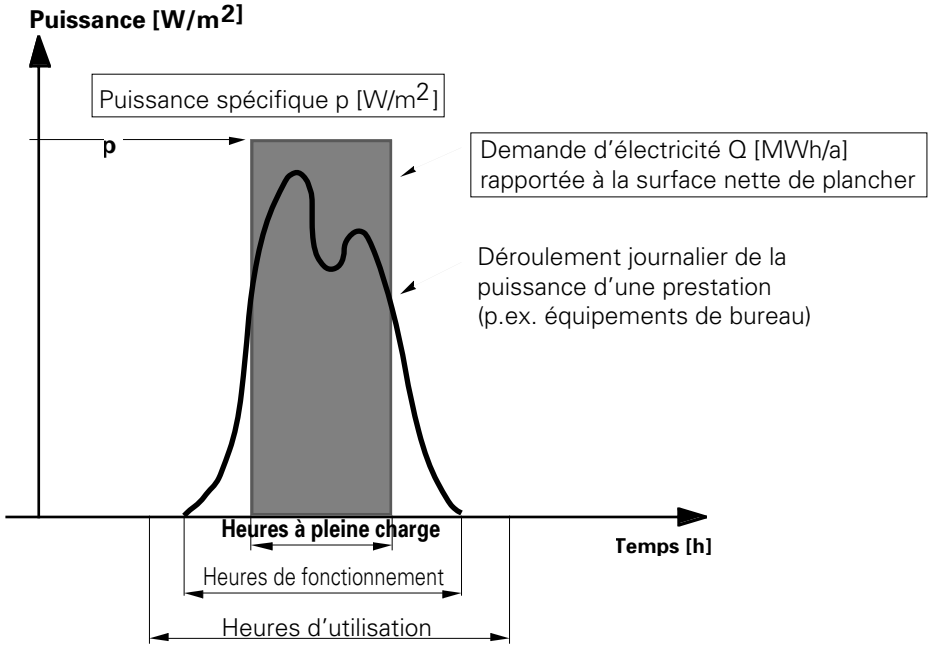
Q =	$\frac{\mathbf{E \times SP}}{\mathbf{3600}}$	
E	Demande spécifique d'électricité	MJ/m^2a
SP	Surface de plancher	m^2

Formule B: Calcul de la demande d'électricité Q [MWh/a] à partir de la demande spécifique d'électricité

Les indices partiels de dépense d'énergie sont finalement déterminés à partir de la ligne des totaux du bilan électrique au moyen de la formule suivante:

IPE =	$\frac{\mathbf{Q_{tot} \times 3600}}{\mathbf{SRE}}$	
Q_{tot}	Demande d'électricité (ligne des totaux du formulaire 1)	MWh/a
SRE	Surface de référence énergétique	m^2

Formule C: Calcul des indices partiels de dépense d'énergie IPE [MJ/m^2a] par prestation à partir du bilan énergétique



Heures à pleine charge	=	facteur d'exploitation	x	heures d'utilisation
h [h/a]	=	f [–]	x	h_U [h/a]

La surgace du rectangle de hauteur "p" (puissance spécifique) et de longueur "h" (heures à pleine charge) représente la demande d'électricité Q d'une certaine prestation (p.ex. équipement des postes de travail de bureau). Cette surface est la même que celle se trouvant sous la courbe représentant l'évolution de la puissance durant une journée.

La **puissance spécifique p** est la puissance appelée au moment ou tous les consommateurs raccordés d'une prestation fonctionnent à pleine charge. Cette puissance est en général *plus petite* que la puissance installée (exception: éclairage), mais *plus élevée* que la puissance maximale mesurable (il est rare de voir absolument tous les consommateurs fonctionner à pleine charge en même temps).

Les **heures d'utilisation** correspondent à la durée par an durant laquelle une zone donnée est utilisée, p.ex. bureaux: 2'750 h/a, magasins: 3'600 h/a.

La **durée de fonctionnement** est la durée d'enclenchement d'installations et d'appareils. Pour des consommateurs à puissance constante, les **heures à pleine charge** correspondent à la durée de fonctionnement, alors que pour des consommateurs à puissance variable, les heures à pleine charge sont inférieures à la durée de fonctionnement.

Le **facteur d'exploitation** représente le rapport entre les heures à pleine charge et les heures d'utilisation. Dans les facteurs d'exploitation sont inclus différents facteurs influençant les heures à pleine charge, comme p.ex. l'utilisation de la lumière naturelle, les commandes et régulations d'installations électriques, les consommations en stand-by, le comportement des utilisateurs. Par le fait que le facteur d'exploitation dépend d'influences diverses, il doit être calculé séparément pour chaque prestation, resp. déterminé au moyen du produit des différents facteurs partiels d'exploitation. Ceux-ci peuvent être tirés du tableau de l'annexe A2.

Figure 4–3: Relation entre la puissance spécifique, les facteurs d'exploitation, les heures à pleine charge et la demande d'électricité.

4.3.3 Calcul de la demande d'électricité de l'équipement des postes de travail (PT)

La puissance spécifique de l'équipement des postes de travail est calculée au moyen de la formule suivante:

$p_{PT} = \frac{P_{pPT}}{S / P}$		
P_{pPT}	Puissance par personne ou poste de travail	W/P
S/P	Surface par personne (surface nette de plancher par personne ou poste de travail)	m^2/P

$P_{pPT} = P_{sPT} \times k_{pPT} \times r_A$		
P_{sPT}	Puissance en stand-by de l'appareil	W
k_{pPT}	Facteur de puissance effective	–
r_{AP}	Densité d'appareils	appareil/P

Formule D: Calcul de la puissance spécifique p_{PT} [W/m^2] pour tout l'équipement des postes de travail

Les données concernant la puissance de l'équipement des postes de travail peuvent être tirées des tableaux A2-1 à A2-4 de l'annexe A2.

Pour obtenir la puissance spécifique de tout l'équipement des postes de travail d'une zone, les valeurs partielles (pour PC, écrans, photocopieurs, imprimantes, etc.) doivent être additionnées.

Les heures à pleine charge de l'équipement des postes de travail sont calculées au moyen de la formule suivante:

$h_{PT} = f_{cPT} \times f_{ePT} \times h_U$		
f_{cPT}	Facteur de durée de fonctionnement	–
f_{ePT}	Facteur d'adaptation aux besoins	–
h_U	Heures d'utilisation	h/a

Formule E: Calcul des heures à pleine charge h_{PT} [h/a] pour l'équipement des postes de travail à l'aide de facteurs d'exploitation

Les facteurs de durée de fonctionnement f_{cPT} et d'adaptation aux besoins f_{ePT} peuvent être tirés des tableaux A2-5 et A2-6 de l'annexe A2.

Exemple: Calcul de la demande d'électricité des PC dans une zone de bureaux (surface de plancher: 500 m^2, heures d'utilisation: 2750 h/a) avec les données caractéristiques suivantes des appareils:

Données:	Puissance en stand-by des PC (appareil économe) p_{SPT}	30	W	(Tableau A2–1)
	Puissance en stand-by de l'écran p_{SPT}	30	W	(Tableau A2–1)
	Facteur de puissance effective k_{pPT}	1.5	–	(Tableau A2–2)
	Densité d'appareils r_{AP}	0.8	appar./P	(Tableau A2–3)
	Surface par personne S/P	15	m^2/P	(Tableau A2–4)
	Facteur de durée de fonctionnement, f_{cPT}	0.5	–	(Tableau A2–5)
	Facteur d'adaptation aux besoins, f_{ePT}	0.3	–	(Tableau A2–6)
Solution:	Puissance spécifique: $p_{PT} = \frac{(30+30) \times 1.5 \times 0.8}{15} =$	4.8	W/m^2	(Formule D)
	Heures à pleine charge: $h_{PT} = 0.5 \times 0.3 \times 2750 =$	413	h/a	(Formule E)
	Demande spécifique d'électricité: $E_{PT} = 4.8 \times 413 \times 0.0036 \times 0.9 =$	6.4	MJ/m^2a	(Formule A)
	Demande d'électricité: $Q_{PT} = \frac{6.4 \times 500}{3600} =$	0.9	MWh/a	(Formule B)

4.3.4 Calcul de la demande d'électricité pour l'éclairage général (EG)

Pour le calcul de la puissance spécifique de l'éclairage, on recourt à la formule suivante:

$p_{EG} = \frac{E_m}{\eta_I \times \eta_E}$		
E_m	Eclairement	lx
η_E	Rendement d'éclairage	–
η_I	Efficacité lumineuse	lm/W

Formule F: Calcul de la puissance spécifique p_{EG} [W/m^2] pour l'éclairage

Les caractéristiques d'éclairage utilisées dans le calcul peuvent être extraites des tableaux A2–7 à A2–9 de l'annexe 2.

Les recommandations de la Société suisse de l'éclairage (SLG) contiennent des indications complémentaires sur les éclairements recommandés. Des indications sur les facteurs d'utilisation et les efficacités lumineuses peuvent être tirées des catalogues des fabricants de luminaires.

Pour le calcul des heures à pleine charge, on recourt à la formule suivante:

$h_{EG} = h_U \times (1 - AEN \times ULN) \times f_{eEG}$		
AEN	Autonomie d'éclairage naturel	–
ULN	Utilisation de la lumière naturelle	–
f_{eEG}	Facteur d'adaptation aux besoins	–
h_U	Heures d'utilisation	h/a

Formule G: Calcul des heures à pleine charge h_{EG} [h/a] pour l'éclairage

Les facteurs d'autonomie d'éclairage naturel AEN, d'utilisation de la lumière naturelle ULN et d'adaptation aux besoins f_{eEG} peuvent être tirés des tableaux A2–10 à A2–12 de l'annexe A2.

Exemple: **Calcul de la demande d'électricité de l'éclairage d'une zone de bureaux (heures d'utilisation: 2750 h/a, surface de plancher: 500 m^2) avec les données caractéristiques d'éclairage suivantes :**

Données:	Eclairement E_m	350	lx	(Tableau A2-7)
	Efficacité lumineuse η_l	75	lm/W	(Tableau A2-8)
	Rendement d'éclairage η_E	0.55	–	(Tableau A2-9)
	Autonomie d'éclairage naturel AEN	0.8	–	(Tableau A2-10)
	Utilisation de la lumière naturelle ULN	0.6	–	(Tableau A2-11)
	Adaptation aux besoins f_{eEG}	0.6	–	(Tableau A2-12)
Solution:	Puissance spécifique: $p_{EG} = \frac{350}{75 \times 0.55} =$	8.48	W/m^2	(Formule F)
	Heures à pleine charge: $h_{EG} = 2750\ (1 - 0.8 \times 0.6) \times 0.6 =$	858	h/a	(Formule H)
	Demande spécifique d'électricité $E_{EG} = 8.48 \times 858 \times 0.0036 \times 0.9 =$	24	MJ/m^2a	(Formule A)
	Demande d'électricité: $Q_{EG} = \frac{24 \times 500}{3600} =$	3.3	MWh/a	(Formule B)

4.3.5 Calcul de la demande d'électricité pour le transport de l'air (TA)

Pour le calcul de la puissance spécifique de transport de l'air (TA), on utilise la formule suivante:

$p_{TA} = \frac{v_{AS} \times \Delta p \times k_{hTA}}{\eta_{tot} \times 3600}$		
v_{AS}	Débit spécifique d'air soufflé	$m^3/h\ m^2$
Δp	Perte de charges sur l'air soufflé et l'air extrait	Pa
η_{tot}	Rendement global du ventilateur et du moteur	–
k_{hTA}	Facteur d'équipement des postes de travail, humidification incluse	–

Formule H: Calcul de la puissance spécifique p_{TA} [W/m^2] de transport de l'air

Des données caractéristiques servant au calcul de la puissance spécifique de transport de l'air peuvent être tirées des tableaux A2-13 à A2-16 de l'annexe A2. D'autres indications sont disponibles dans la littérature spécialisée et dans les catalogues des fabricants d'installations de ventilation.

Pour le calcul des heures à pleine charge, on utilise la formule suivante:

$h_{TA} = f_{cTA} \times f_{eTA} \times h_U$		
f_{cTA}	Facteur de durée de fonctionnement	–
f_{eTA}	Facteur d'adaptation aux besoins	–
h_U	Heures d'utilisation	h/a

Formule J: Calcul des heures à pleine charge h_{TA} [h/a] pour le transport de l'air

Le facteur de durée de fonctionnement f_{cTA} utilisé lors de la planification a normalement une valeur de 1.0. Le facteur d'adaptation aux besoins f_{eTA} peut être tiré du tableau A2-17 de l'annexe A2.

Si on veut calculer la demande totale d'électricité de la prestation «ventilation ou climatisation», la demande d'électricité de transport de l'air doit être additionnée à celle de la réfrigération (de l'air ou de l'eau).

Pour le calcul de la demande d'électricité pour la réfrigération de l'air ou de l'eau: consulter les pages suivantes.

Exemple: **Calcul de la demande d'électricité de transport de l'air dans une surface de vente (heures d'utilisation: 3600 h/a, surface de plancher: 500 m^2) avec les valeurs caractéristiques suivantes:**

Données:	Débit spécifique d'air soufflé v_{AS}	6	m^3/hm^2	(Tableau A2-13)
	Pertes de charge Δp de l'air soufflé et extrait	900	Pa	(Tableau A2-14)
	Facteur des équipements auxiliaires k_{hTA}	1.05	–	(Tableau A2-15)
	Rendement global η_{tot}	0.55	–	(Tableau A2-16)
	Facteur de durée de fonctionnement f_{cTA}	1.0	–	
	Facteur d'adaptation aux besoins f_{eTA}	0.6	–	(Tableau A2-17)
Solution:	Puissance spécifique: $p_{TA} = \frac{6 \times 900 \times 1.05}{0.55 \times 3600} =$	2.86	W/m^2	(Formule H)
	Heures à pleine charge: $h_{TA} = 1.0 \times 0.6 \times 3600 =$	2160	h/a	(Formule J)
	Demande spécifique d'électricité : $E_{TA} = 2.86 \times 2160 \times 0.0036 \times 0.9 =$	20.0	MJ/m^2a	(Formule A)
	Demande d'électricité: $Q_{TA} = \frac{20.0 \times 500}{3600} =$	2.8	MWh/a	(Formule B)

4.3.6 Calcul de la réfrigération de l'air (RA)

Pour le calcul de la puissance spécifique de réfrigération de l'air, on recourt à la formule suivante:

$\mathbf{p_{RA} =}$	$\frac{\mathbf{v_{AS} \times \Delta h \times \rho_a \times k_{vRA} \times k_{hRA}}}{\mathbf{\eta_{kRA} \times 3.6}}$	
v_{AS}	Débit spécifique d'air soufflé	m^3/hm^2
Δh	Différence d'enthalpie	kJ/kg
ρ_a	Densité de l'air	1.13 kg/m^3
k_{vRA}	Facteur de pertes de distribution et de stockage	–
k_{hRA}	Facteur des équipements auxiliaires	–
η_{kRA}	Coefficient de performance de l'installation frigorifique	–

Formule K: Calcul de la puissance spécifique p_{RA} [W/m^2] pour la réfrigération de l'air

Des valeurs caractéristiques d'installations destinées au calcul de la puissance spécifique de réfrigération de l'air peuvent être tirées des tableaux A2-18 à A2-21 de l'annexe A2. D'autres indications sont disponibles dans la littérature spécialisée et dans les catalogues des fabricants d'installations frigorifiques.

Pour le calcul des heures à pleine charge, on recourt à la formule suivante:

$\mathbf{h_{RA} =}$	$\mathbf{f_{cRA} \times f_{eRA} \times h_U}$	
f_{cRA}	Facteur de durée de fonctionnement	–
f_{eRA}	Facteur d'adaptation aux besoins	–
h_U	Heures d'utilisation	h/a

Formule L: Calcul des heures à pleine charge h_{RA} [h/a] pour la réfrigération de l'air

Les facteurs de durée de fonctionnement f_{cRA} et d'adaptation aux besoins f_{eRA} peuvent être tirés des tableaux A2-22 à A2-23 de l'annexe A2.

Exemple: **Calcul de la demande d'électricité de réfrigération de l'air pour une surface de vente (heures d'utilisation: 3600 h/a, surface de plancher: 500 m^2) avec les valeurs caractéristiques suivantes:**

Données:	Débit spécifique d'air soufflé v_{AS}	6	m^3/hm^2	(Tableau A2-13)
	Différence d'enthalpie Δh	16	kJ/kg	(Tableau A2-18)
	Densité de l'air ρ_a	1.13	kg/m^3	
	Facteur de pertes de distribution k_{vRA}	1.15	–	(Tableau A2-19)
	Facteur des équipements auxiliaires k_{hRA}	1.25	–	(Tableau A2-20)
	Coefficient de performance de l'installation frigorifique η_{kRA}	3.0	–	(Tableau A2-21)
	Facteur de durée de fonctionnement f_{cRA}	0.3	–	(Tableau A2-22)
	Facteur d'adaptation aux besoins f_{eRA}	0.55	–	(Tableau A2-23)

Solution:

Puissance spécifique:

$$p_{RA} = \frac{6 \times 16 \times 1.13 \times 1.15 \times 1.25}{3.0 \times 3.6} = 14.4 \ W/m^2 \quad \text{(Formule K)}$$

Heures à pleine charge:

$$h_{RA} = 0.3 \times 0.55 \times 3600 = 594 \ h/a \quad \text{(Formule L)}$$

Demande spécifique d'électricité:

$$E_{RA} = 14.4 \times 594 \times 0.0036 \times 0.9 = 27.8 \ MJ/m^2a \quad \text{(Formule A)}$$

Demande d'électricité:

$$Q_{RA} = \frac{27.8 \times 500}{3600} = 3.9 \ MWh/a \quad \text{(Formule B)}$$

4.3.7 Calcul de la réfrigération de l'eau (RE)

Pour le calcul de la puissance spécifique de la réfrigération de l'eau, on recourt à la formule suivante:

$p_{RE} = \frac{p_{CTRE} \times k_{vRE} \times k_{hRE}}{\eta_{kRE}}$		
p_{CTRE}	Charge thermique spécifique à évacuer au moyen de la réfrigération de l'eau	W/m^2
k_{vRE}	Facteur de pertes de distribution et de stockage	–
k_{hRE}	Facteur d'équipements auxiliaires	–
η_{kRE}	Coefficient de performance de l'installation frigorifique	–

Formule M: Calcul de la puissance spécifique p_{RE} [W/m^2] pour la réfrigération de l'eau

Les valeurs valables pour la réfrigération de l'air le sont également pour les pertes de distribution, les équipements auxiliaires et les coefficients de perfomance. Le calcul de la charge thermique active P_{CT} est décrit à l'annexe A2 23 de la recommandation SIA 380/4.

Pour le calcul des heures maximales de fonctionnement de la réfrigération de l'eau, on recourt à la formule suivante:

$h_{RE} = f_{cRE} \times f_{eRE} \times h_U$		
f_{cRE}	Facteur de durée de fonctionnement	–
f_{eRE}	Facteur d'adaptation aux besoins	–
h_U	Heures d'utilisation	h/a

Formule N: Calcul des heures à pleine charge h_{RE} [h/a] de réfrigération de l'eau

Les facteurs valables pour la durée de fonctionnement f_{cRE} et l'adaptation aux besoins f_{eRE} peuvent être tirés des tableaux A2-24 à A2–25 de l'annexe A2. (**Attention:** les valeurs sont différentes de celles pour la réfrigération de l'air!)

Exemple: Calcul de la demande d'électricité de la réfrigération de l'eau d'une surface de bureau (heures d'utilisation: 2750 h/a, surface de plancher: 500 m^2) avec les valeurs caractéristiques suivantes:

Données:

Charge thermique spécifique p_{CT} , au total	30	W/m^2	
dont: Dégagement de chaleur par des personnes	*4*	*W/m^2*	
Rejets de chaleur de l'équipement des postes de travail	*12*	*W/m^2*	
Rejets de chaleur de l'éclairage	*14*	*W/m^2*	
Facteur de pertes de distribution k_{vRE}	1.15	–	(Tableau A2-19)
Facteur d'équipements auxiliaires k_{hRE}	1.25	–	(Tableau A2-20)
Coefficient de performance de l'installation frigorifique η_{kRE}	3.0	–	(Tableau A2-21)
Facteur de durée de fonctionnement f_{cRE}	0.4	–	(Tableau A2-24)
Facteur d'adaptation aux besoins f_{eRE}	0.7	–	(Tableau A2-25)

Solution:

Puissance spécifique:

$$p_{RE} = \frac{30 \times 1.15 \times 1.25}{3.0} = 14.4 \ W/m^2$$ (Formule M)

Heures à pleine charge:

$$h_{RE} = 0.4 \times 0.7 \times 2750 = 770 \ h/a$$ (Formule N)

Demande spécifique d'électricité:

$$E_{RE} = 14.4 \times 770 \times 0.0036 \times 0.9 = 35.9 \ MJ/m^2a$$ (Formule A)

Demande d'électricité:

$$Q_{RE} = \frac{35.9 \times 500}{3600} = 5.0 \ MWh/a$$ (Formule B)

4.3.8 Calcul des diverses techniques (DT)

Les consommateurs destinés à assurer la prestation «diverses techniques» sont ceux qui fournissent des prestations énergétiques indépendantes des zones, pour l'ensemble du bâtiment. Ce sont avant tout les équipements auxiliaires pour le chauffage (brûleur, pompes de circulation) ainsi que les ascenseurs.

Pour le calcul de l'indice partiel de dépense d'énergie des «diverses techniques» pour les énergies auxiliaires de chauffage et les ascenseurs, on utilise les formules suivantes:

$\mathbf{IPE_{DT} =}$	$\mathbf{(Q_{ch} + Q_{ec}) \times k_{hDT}}$	
Q_{ch}	Demande d'énergie de chauffage	MJ/m^2a
Q_{ec}	Demande de chaleur d'eau chaude	MJ/m^2a
k_{hDT}	Facteur d'énergie auxiliaire de chauffage	–

$\mathbf{e_{AS} =}$	$\mathbf{r_{AS} \times e_{AT}}$	
r_{AS}	Nombre de trajets des ascenseurs	Trajets/a
e_{AT}	Demande d'électricité par trajet d'ascenseur	kWh/trajet

$\mathbf{IPE_{DT} =}$	$\mathbf{\frac{n_A \times e_A \times 3.6}{SRE}}$	
n_{AS}	Nombre d'ascenseurs	–
e_{AS}	Demande d'électricité par ascenseur	kWh/a
SRE	Surface de référence énergétique	m^2

Formule O: Calcul de l'indice partiel de dépense d'énergie IDE_{DT} $[MJ/m^2a]$ pour les diverses techniques

Les valeurs à introduire pour la demande d'énergie de chauffage et d'eau chaude doivent être déterminées au moyen de la recommandation SIA 380/1. Le facteur d'énergie auxiliaire k_{hDT} ainsi que les valeurs de la demande d'énergie électrique par trajet e_{AT} et les nombres de trajets par année r_{AS} peuvent être déterminés, à titre d'exemple dans l'application ci-contre (valeurs typiques). Des indications complémentaire sont disponibles dans la littérature spécialisée (p.ex. [3]).

Pour le calcul de la demande d'électricité, on peut appliquer la formule suivante:

$\mathbf{Q_{DT} =}$	$\mathbf{\frac{IPE_{DT} \times SRE}{3600}}$	
IPE_{DT}	Indice partiel de dépense d'énergie IPE_{DT} pour les diverses techniques	MJ/m^2a
SRE	Surface de référence énergétique	m^2

Formule P: Calcul de la demande d'électricité Q_{DT} [MWh/a] pour les diverses techniques à partir de l'indice partiel de dépense d'énergie IPE_{DT} pour les diverses techniques

Exemple: **Calcul de l'indice partiel de dépense d'énergie et de la demande d'électricité pour les diverses techniques dans un immeuble de bureaux avec les données caractéristiques suivantes et une surface de référence énergétique de 3000 m^2:**

Données:

Demande d'énergie de chauffage Q_{ch}	220	MJ/m^2a	cf. SIA 380/1
Demande d'eau chaude Q_{ec}	25	MJ/m^2a	cf. SIA 380/1
Facteur d'énergie auxiliaire k_{hDT}	0.015	–	
Demande d'électricité par trajet e_{AT}	0.015	kWh/trajet	
Nombre de trajets de l'ascenseur r_{AS}	300'000	trajets/a	
Nombre d'ascenseurs n_{AS}	2	–	

Solution:

Indice partiel de dépense d'énergie IPE_{DT}	14.5	MJ/m^2a	(Formule O)
Part d'énergie auxiliaire: *(220 + 25) x 0.015 =*	*3.7*	*MJ/m^2a*	
Contribution des ascenseurs: $\frac{0.015 \times 300'000 \times 2 \times 3.6}{3000} =$	*10.8*	*MJ/m^2a*	
Demande d'électricité: $Q_{DT} = \frac{14.5 \times 3000}{3600} =$	12.1	MWh/a	(Formule P)

4.4 Détermination à partir des données de projet d'installations des bâtiments

Après que les installations et leurs composantes aient été définies, la demande d'électricité de l'installation peut être déterminée sur la base d'une liste de consommateurs. Cette méthode peut également être appliquée dans une phase précoce du projet par le fait que les données concernant les principaux consommateurs peuvent être estimées approximativement.

Pour effectuer la détermination de la représentation normalisée de la demande d'électricité (formulaire 1), il faut classer la liste des consommateurs par zone et prestation.

4.4.1 Modèle de calcul et formules de base

Le calcul de la demande d'électricité est effectué pour chaque consommateur au moyen de la formule de base suivante:

Q =	**P x h x 0.001**	
P	La puissance correspond à la moyenne durant un quart d'heure de la puissance effective d'un consommateur à pleine charge	kW
h	Les heures à pleine charge correspondent à la durée de fonctionnement annuel pour une consommation d'énergie équivalente à celle d'un consommateur à pleine charge.	h/a

Formule Q: Calcul de la demande d'électricité Q [MWh/a] du consommateur à partir de la puissance et des heures à pleine charge

La puissance des principaux consommateurs est estimée au moyen de valeurs d'expérience ou à l'aide de formules semblables à celles du paragraphe 4.3.

Les heures à pleine charge des principaux consommateurs sont également choisies sur la base de valeurs d'expérience ou estimées à partir d'heures d'utilisation et de facteurs de fonctionnement selon paragraphe 4.3.

Une liste complète des consommateurs d'un magasin d'alimentation est présentée au paragraphe 6.2.2.

4.4.2 Exemple de détermination de la demande d'électricité pour l'éclairage

En premier, le spécialiste doit choisir le type de luminaires puis, sur la base des caractéristiques techniques, déterminer le nombre de luminaires nécessaires. Le nombre effectif est établi en considérant leur disposition dans une vue en plan (figure 4–4).

Exemple: **Calcul de la demande d'électricité d'éclairage d'une zone de bureaux (heures d'utilisation 2750 h/a, surface de plancher 1000 m^2) avec les données suivantes concernant l'éclairage:**

Données:

Eclairement E_m	300	lx	
Luminaires à écran miroité	direct/indirect, à 1 lampe		
Lampe triphosphore	36	W	
Ballast à faible perte	4	W	
Nombre de luminaires	276	–	(Figure 4–3)
Heures à pleine charge	1200	h/a	

Solution:

Puissance:

$P_E = 276 \times (36 + 4) =$ 11.0 kW

Demande d'électricité:

$Q_E = 11.0 \times 1200 \times 0.001 =$ 13.2 MWh/a (Formule Q)

Puissance spécifique:

$$p_E = \frac{11.0 \times 1000}{1000 \times 0.9} =$$ 12.3 W/m^2

Demande spécifique d'électricité:

$$E_E = \frac{13.2 \times 3600}{1000} =$$ 47.5 MJ/m^{2}a

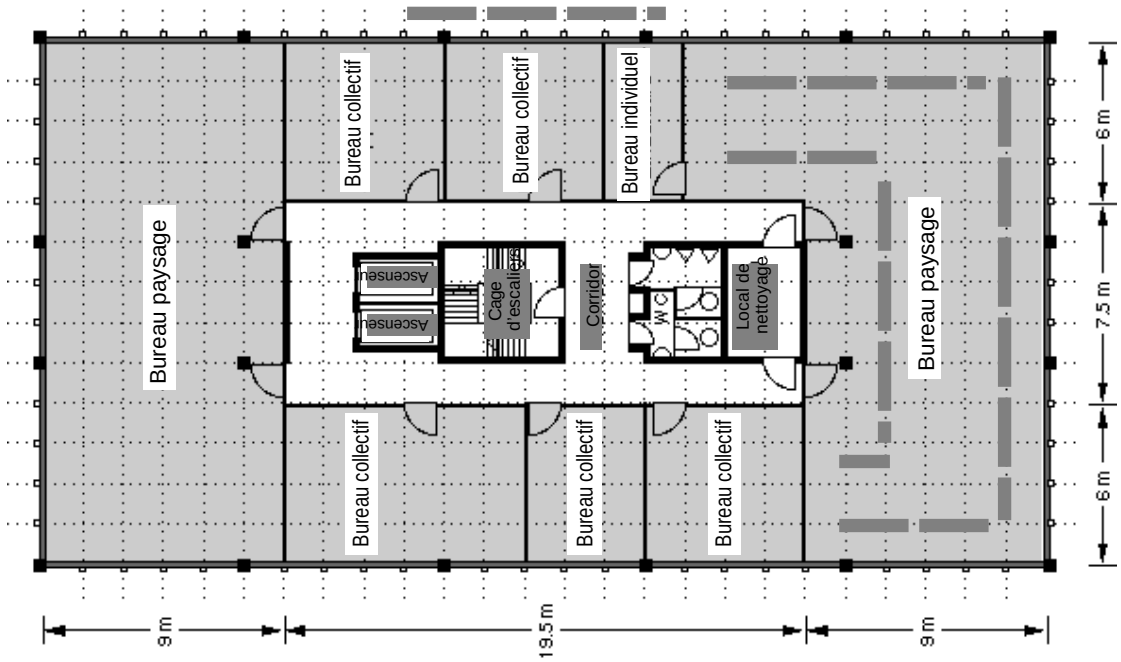


Figure 4–4: Vue en plan de la zone de bureaux avec luminaires dessinés

4.4.3 Exemple de calcul de la demande d'électricité pour la ventilation ou la climatisation

En ce qui concerne les installations de ventilation ou de climatisation, la liste des consommateurs (tableau 4–6) est établie à partir du schéma de principe (figure 4–5).

Dans l'évaluation de la demande d'électricité, on détermine (tableau 4–6), en plus de celle des ventilateurs et de la machine frigorifique comme principaux consommateurs, également la demande d'électricité des équipements auxiliaires (récupération de chaleur, pompe de la batterie de chauffage).

Exemple: **Calcul de la demande d'électricité de la ventilation ou de la climatisation d'une zone de bureaux (heures d'utilisation 2750 h/a, surface de plancher 1000 m^2, 100 personnes) avec ventilation par déplacement d'air et plafond froid:**

Données: Ventilation ou climatisation selon figure 4–5 avec liste des consommateurs selon tableau 4–6

Solution:

Transport de l'air (TA)	Puissance P_{TA}	4.3	kW	(Tableau 4–6)
	Demande d'électricité Q_{TA}	11.38	MWh/a	(Tableau 4–6)
	Heures à pleine charge: $h_{TA} = \frac{11.38}{4.3 \times 0.001} =$	2647	h/a	(Formule Q)
	Puissance spécifique: $p_{TA} = \frac{4.3 \times 1000}{1000 \times 0.9} =$	4.8	W/m^2	
	Demande spécifique d'électricité: $E_{TA} = \frac{11.38 \times 3600}{1000} =$	41	MJ/m^2a	
Réfrigération (R)	Puissance P_R	15.9	kW	(Tableau 4–6)
	Demande d'électricité Q_R	14.61	MWh/a	(Tableau 4–6)
	Heures à pleine charge: $h_R = \frac{14.61}{15.9 \times 0.001} =$	919	h/a	(Formule Q)
	Puissance spécifique: $p_R = \frac{15.9 \times 1000}{1000 \times 0.9} =$	17.7	W/m^2	
	Demande spécifique d'électricité: $E_R = \frac{14.61 \times 3600}{1000} =$	52	MJ/m^2a	
Ventilation ou climatisation (VC)	Demande spécifique d'électricité, total: $E_{VC} = 41 + 52 =$	93	MJ/m^2a	

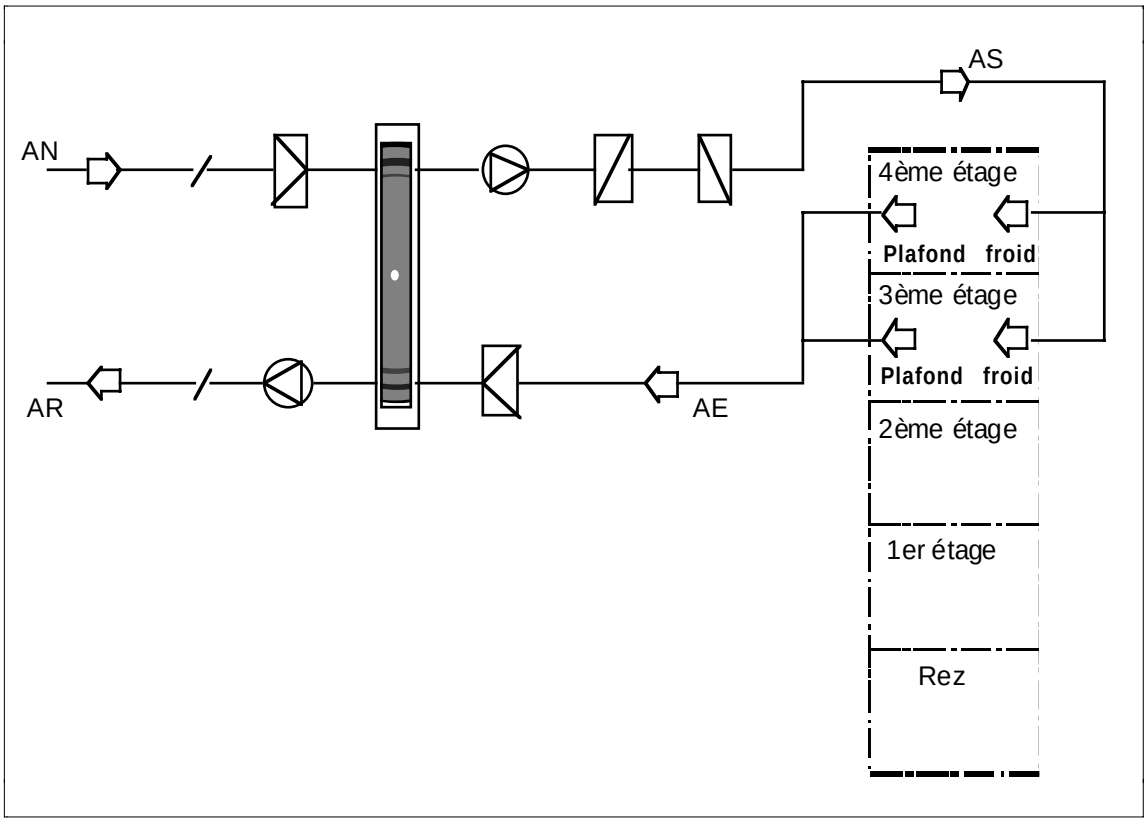


Figure 4–5: Schéma de principe de l'installation de climatisation

N°	Consommateur	Débit [m^3/h]	Perte de charge [Pa]	Puissance totale [kW]	Heures à pleine charge [h/a]	Demande d'électricité [MWh/a]
Transport de l'air						
1	Ventilateur d'air soufflé	7500	650	2.1	2750	5.78
2	Ventilateur d'air extrait	7500	525	1.7	2750	4.68
3	Récupération de chaleur			0.4	1800	0.72
4	Pompe de la batterie de chauffage de l'air			0.1	2100	0.21
	Total		**1175**	**4.3**	**2647**	**11.38**
Réfrigération						
5	Compresseur			9.3	790	7.35
6	Condensateur			0.7	1100	0.77
7	Pompe d'eau glacée			2.2	1100	2.42
8	Pompe d'eau glacée			0.5	1100	0.55
9	Pompe primaire			1.1	1100	1.21
10	Pompe secondaire			2.1	1100	2.31
	Total			**15.9**	**919**	**14.61**

Tableau 4–6: Liste des consommateurs servant au transport et à la réfrigération de l'air de l'installation de climatisation de la figure 4–5

4.5 Indications concernant les méthodes de calcul détaillé

Les calculs détaillés de la demande d'électricité par installation ou consommateur sont effectués sur la base de méthodes de calcul propres aux différentes disciplines. Les résultats des calculs détaillés doivent être utilisés pour la représentation normalisée de la demande d'électricité par zone et prestation (formulaire 1).

Dans ce chapitre, il n'est possible de citer que quelques procédés de calcul détaillé choisis et d'utilisation fréquente (voir bibliographie [6], [7], [8], [10], [11], annexe A4.3). La présentation de ces méthodes dépasserait le cadre de manuel.

4.5.1 Méthode de calcul détaillé pour l'éclairage

La demande d'électricité pour les installations d'éclairage dépend principalement d'influences combinées de la lumière naturelle et artificielle dans les locaux, de la demande en puissance de l'éclairage artificiel ainsi que du comportement des usagers. Mis à part le comportement des usagers, il est actuellement possible de prendre en compte toutes les influences par le calcul, ce qui nécessite des moyens plus ou moins importants d'une application à l'autre.

Calcul de la lumière naturelle dans les locaux

Le facteur de lumière du jour peut être utilisé comme base pour l'estimation des heures à pleine charge dans des zones influencées par la lumière naturelle. Les conditions de lumière naturelle peuvent être optimisées au moyen du facteur de lumière du jour, p.ex. en comparant plusieurs variantes d'un aménagement de façade.

Méthode: Le facteur de lumière du jour indique, en un point quelconque d'un local, le rapport entre l'intensité lumineuse en ce point et celle de la lumière extérieure. A l'aide de la probabilité d'ensoleillement, le «ciel moyen» est déterminé pour la localité considérée. On admet dans ce calcul que le ciel est couvert de manière uniforme. Les résultats obtenus sont indépendants du site géographique et de l'orientation de l'objet. De cette façon, la durée d'utilisation durant laquelle l'éclairage est assuré dans le local par la lumière naturelle peut être calculée.

Méthodes de calcul: Trois procédés de calcul sont actuellement utilisés. Des méthodes manuelles telle que la méthode du coefficient d'utilisation (USA) et la méthode du facteur de lumière du jour (Europe, CIE – Commission Internationale de l'Eclairage). Les programmes informatiques récents s'appuient souvent sur la méthode du flux lumineux, qui autorise à considérer également les influences des déviateurs de lumière, des miroirs, de stores de protection solaire.

Calcul de la lumière artificielle dans les locaux

C'est au moyen du calcul de la lumière artificielle que la puissance spécifique d'éclairage peut être déterminée directement.

Méthodes de calcul: La méthode du coefficient d'utilisation, en tant que méthode manuelle simple et permettant une vue d'ensemble, est utilisée pour un calcul rapide et global du nombre de luminaires dans un local. Lorsque il est nécessaire de résoudre des problèmes d'éclairage plus exigeants, les concepteurs en installation d'éclairage utilisent des programmes informatiques fournis par différents fabricants de luminaires. Au moyen de ces programmes, il est possible de déterminer l'uniformité, la répartition de la lumière sur toutes les surfaces, etc.

Donnée	**Résultat**
Calcul de la lumière naturelle	
Local: hauteur / largeur / profondeur Réflexion sol / parois / plafonds **Fenêtres:** longueur / hauteur, degré de transmission, hauteur de parapet, orientation, degré de salissure **Lanternaux**, **protection solaire** (degré de transmission réduit), **oriels**, **constructions faisant ombrage** (albedo, diagramme de lumière du ciel) **Environnement:** valeur de réflexion 15 % fixe **Conditions de lumière naturelle:** ciel uniformément couvert , ciel moyen (probabilité d'ensoleillement) **Eclairement nominal** **Commande / régulation:** en / hors, à variation continue	**Facteur de lumière du jour [%]** Le facteur de lumière du jour peut être déterminé pour un nombre quelconque de points dans un local. **Heures à pleine charge [h/a]** La durée d'exploitation à la lumière naturelle seule peut être déduite pour chaque valeur d'éclairement souhaité.
Calcul de la lumière artificielle	
Local: hauteur, largeur, profondeur, hauteur du plan de travail, degrés de réflexion, rendement du local, facteur de diminution **Luminaires:** classification des luminaires, rendement du luminaire, longueur du support, disposition dans le local, *	**Eclairement moyen** **Nombre de luminaires** **Eclairement et densité de luminaires** * **Puissance installée** **Uniformité** *

* n'est possible que moyennant un calcul par programme informatique

Tableau 4–7: Données et résultats des calculs détaillés pour la lumière naturelle et artificielle dans les locaux

4.5.2 Procédés de calcul détaillé pour la ventilation ou la climatisation

La demande d'électricité pour la ventilation ou climatisation est provoquée par le transport de l'air (débit d'air, pertes de charge, rendement du ventilateur et du moteur), la production de froid et sa distribution (jusqu'à plus de 50 % de la consommation, voir exemple du paragraphe 4.4.3), ainsi que la part de l'humidification de l'air assurée au moyen d'électricité.

On dispose de différentes méthodes pour le calcul de la demande d'électricité. Nous présentons ci-dessous deux types de calcul utilisés fréquemment.

Valeurs de la demande d'énergie pour des installations de ventilation ou de climatisation (calcul des frais d'exploitation d'équipements de ventilation ou de climatisation selon directives SICC 83-2)

Pour des installations comportant des états stationnaires de fonctionnement et d'air soufflé, les résultats valables pour la réfrigération de l'air extérieur (facteur d'adaptation aux besoins, fe_{RA}) et l'humidification de l'air extérieur (contribution du facteur d'équipements auxiliaires, k_{TA}) peuvent être intégrés dans le calcul simplifié. Des concepts spéciaux tels que le Free cooling, ne peuvent pas faire l'objet d'un calcul immédiat.

Méthode: Les données de six stations météo de Suisse ont été préparées pour chaque mois. Sur la base de ces données, les valeurs de la demande d'énergie pour l'humidification et la réfrigération de l'air extérieur ont été calculées.

Fréquences cumulées de la température extérieure (Documentation SIA D 012)

Des valeurs de facteurs pour un calcul simplifié peuvent être directement déduites des tableaux de fréquence cumulée. Contrairement à la directive SICC, il peut être nécessaire d'effectuer encore des calculs supplémentaires pour certaines stratégies de réglage, p.ex. pour le diagramme du refroidissement ou les états de fonctionnement. Des stratégies de réglage d'installations de ventilation/climatisation (régulation de température de l'air soufflé, débit variable etc.) peuvent être prises en considération dans cette représentation en tableaux pour le calcul de la demande d'électricité.

Données	Résultats
Coût d'exploitation d'équipements de ventilation ou de climatisation Directive SICC 83-2	
Humidification de l'air extérieur Débit d'air extérieur Humidité de l'air soufflé (constante) Température de l'air soufflé (constante) Durée de fonctionnement (journalière) Nombre de jours de fonctionnement par an	Demande d'énergie de chauffage [MWh] Quantité d'eau consommée pour l'humidification [kg/a] Heures d'humidification [h/a]
Réfrigération de l'air extérieur Débit d'air extérieur Température de surface moyenne de la batterie Température de l'air soufflé (constante) Durée de fonctionnement (journalière) Nombre de jours de fonctionnement par an	Demande de froid [MWh] Heures de réfrigération [h/a]
Fréquences cumulées de la température extérieure Documentation SIA D 012	
Chauffage de l'air extérieur Température de l'air soufflé Heures de fonctionnement (journalier) Nombre de jours de fonctionnement par an Facteur de correction de la durée de fonctionnement	Demande spécifique d'énergie de chauffage [MJ/m^{2}a] Heures de chauffage [h/a]
Humidification de l'air extérieur Humidité absolue de l'air soufflé Température de l'air soufflé Durée de fonctionnement (journalière) Nombre de jours de fonctionnement par an Facteur de correction de la durée de fonctionnement	Demande spécifique d'énergie de chauffage [MJ/m^{2}a] Quantité spécifique d'eau utilisée pour l'humidification [m^3/a] Heures d'humidification [h/a]
Réfrigération de l'air extérieur Température moyenne de surface de la batterie de froid Température de l'air soufflé Diagramme du refroidissement Durée de fonctionnement (journalière) Nombre de jours de fonctionnement Facteur de correction de la durée de fonctionnement	Demande spécifique de froid [W/m^2] Heures de réfrigération [h/a]

Tableau 4–8: Données et résultats de procédés de calcul détaillé pour la ventilation ou la climatisation

5. Exemple d'application au cas “construction neuve”

5.1 Introduction 58

5.2 Etudes préalables 60
5.2.1 Cahier des charges 60
5.2.2 Découpage en zones et indications sur l'utilisation 61
5.2.3 Détermination des exigences 61
5.2.4 Estimation de la demande d'électricité 62

5.3 Avant-projet 64
5.3.1 Hypothèses constructives et choix de système pour les installations des bâtiments 64
5.3.2 Découpage en zones et conditions d'utilisation 64
5.3.3 Adaptation des exigences 66
5.3.4 Représentation normalisée de la demande d'électricité 66

5.4 Projet 68
5.4.1 Découpage en zones et conditions d'utilisation 68
5.4.2 Représentation normalisée de la demande d'électricité 68
5.4.3 Comparaison avec les exigences 70
5.4.4 Principe de mesure 71

5.5 Utilité de l'application de la recommandation SIA 380/4 72

5.1 Introduction

L'exemple d'une construction neuve, présenté ci-dessous, concerne un centre administratif comportant mille postes de travail. Le projet (figure 5–2) était sorti vainqueur d'un concours. Le maître de l'ouvrage s'était fixé comme objectif de construire un bâtiment exemplaire du point de vue économique, énergétique et écologique.

Le corps du bâtiment, fortement découpé, comporte quatre étages (du sous-sol au 2ème étage). Les corps de bâtiment orientés du nord au sud sont conçus de manière symétrique (figure 5–3), reliés entre eux par des constructions de liaison orientées de l'ouest en est. Les cours intérieures ne sont pas couvertes.

L'application de la recommandation SIA 380/4 au processus de planification de l'exemple "construction neuve" est résumée au tableau 5–1.

Etapes du processus de planification	**Eléments de SIA 380/4 utilisés**
1. Etudes préalables	
Etablir le cahier des charges	Conditions d'utilisation Niveau d'exigences
Définir le découpage en zone et les indications sur l'utilisation	Exigences
Définir les exigences	Exigences
Estimer le bilan électrique	Exigences, valeurs d'expérience
2. Avant-projet	
Adopter des bases constructives pour une utilisation rationnelle de l'électricité et effec-tuer le choix de système des installations des bâtiments	Conditions d'utilisation
Définir les exigences	Exigences
Estimer le bilan électrique	Exigences, valeurs d'expérience
3. Projet	
Dimensionner les installations des bâtiments et choisir les composants	
Déterminer le bilan électrique	Calcul simplifié
Comparer aux exigences	Exigences
Etablir un principe de mesure	Bilan électrique

Tableau 5–1: Application de la recommandation SIA 380/4 au processus de planification pour l'exemple "construction neuve"

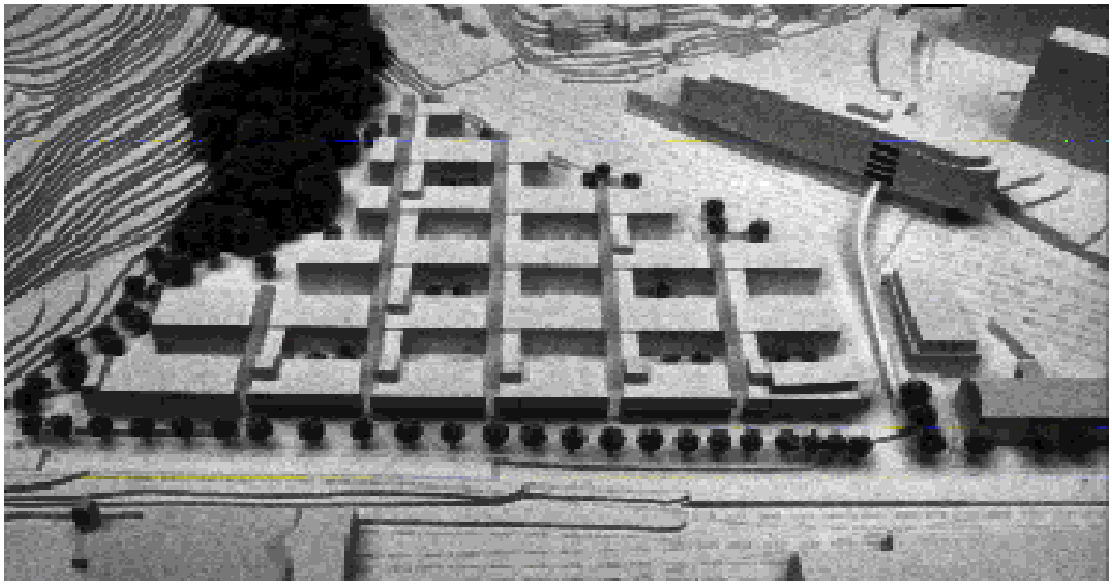


Figure 5–2: Construction projetée d'un centre administratif comportant mille places de travail (photo de maquette)

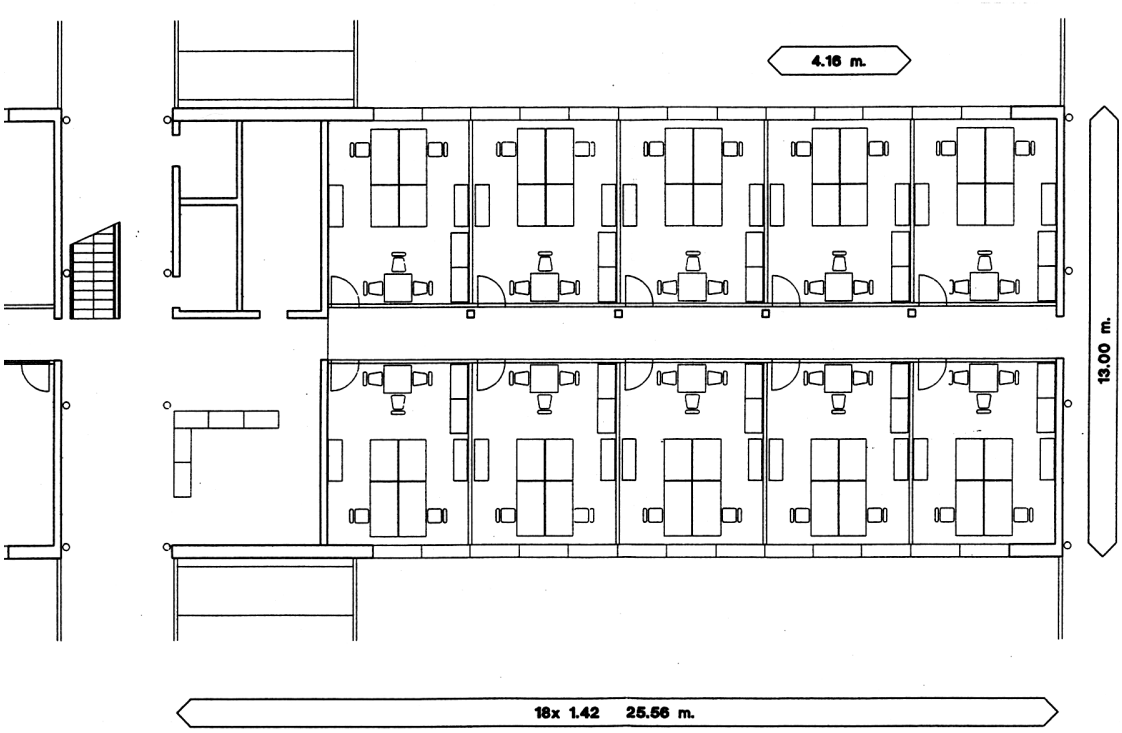


Figure 5–3: Vue en plan d'un étage de bureaux du centre administratif

5.2 Etudes préalables

5.2.1 Cahier des charges

Les exigences concernant la demande d'électricité du bâtiment ainsi que celles concernant l'arrangement constructif et technique ont été fixées d'un commun accord par le maître de l'ouvrage, les utilisateurs et les concepteurs dans un cahier des charges (tableau 5–4).

Exigences en matière de demande d'électricité
En règle générale, la demande spécifique d'électricité ne doit pas dépasser la moyenne des valeurs-limites et des valeurs-cibles selon la recommandation SIA 380/4.
Exigences constructives
• Protection solaire estivale optimale (valeur du facteur g < 0.15) • Masse d'accumulation suffisante dans les locaux (plafonds en béton) • Renonciation à une climatisation active des bureaux
Eclairage
Utilisation intensive de la lumière naturelle: Dans la mesure du possible, dans tous les locaux utilisés fréquemment, la lumière naturelle doit être à disposition en quantité suffisante. Les valeurs suivantes doivent être atteintes: • Les bureaux même situés de façon défavorable doivent être suffisamment exposés à la lumière naturelle durant 50 % de l'année (facteur de lumière naturelle 3 %, dans le local, à 2 m de la façade). • Toutes les surfaces de circulation situées au-dessus du sol doivent recevoir suffisamment de lumière naturelle (facteur de lumière naturelle d'environ 0.4 %). **Eclairage artificiel:** Les éclairements doivent être choisis suivant les directives de l'Association suisse de l'éclairage. Le rendement de l'ensemble du système d'éclairage (les taux de réflexion des parois, le rendement des luminaires en service, l'efficacité lumineuse des lampes, la puissance de perte des ballasts, etc.) doivent être optimisés.
Ventilation ou climatisation
Exigences générales: • La ventilation des bureaux individuels ou de groupe ainsi que des petites salles de conférence a lieu au moyen des fenêtres. • Les seuls locaux disposant d'une ventilation mécanique sont les grandes salles de conférence, le restaurant, la cuisine, les garages, les locaux techniques et d'éventuels entrepôts (locaux de nettoyage). L'humidité relative régnant dans les locaux ventilés par voie mécanique ne doit pas être inférieure à 30 %. L'humidification ne doit pas être effectuée au moyen de vapeur produite à partir d'électricité. **Exigences à l'installation:** • Les composants des installations de ventilation (monoblocs, section des gaines, moteurs électriques) doivent être optimisés lors de leur dimensionnement en tenant compte de la demande d'électricité. • Le rendement des ventilateurs (moteur inclus) doit être > 55 % pour des débits compris entre 40 et 100 %. Le débit doit être régulé en fonction des besoins.

Tableau 5–4: Extrait des exigences concernant l'énergie dans le cahier des charges de la phase des études préalables

5.2.2 Répartition en zones et indications sur l'utilisation

Les indications sur l'utilisation ont été définies par le groupe de planification conjointement avec le maître de l'ouvrage. Le découpage du bâtiment en zones d'heures et de conditions d'utilisation identiques (tableau 5–5) est effectué exclusivement à partir des tableaux 2 et 3 de la recommandation. Compte tenu du l'état d'avancement des études (phase des études préalables), il n'est possible de distinguer que peu de zones.

Zone	Surface de plancher [m^2]	Utilisation
Bureaux	19'200 (45 %)	Utilisation mixte des bureaux pour l'administration, le centre de conférences avec locaux de séances et de conférences
Circulation	10'200 (24 %)	Surfaces de circulation situées en-dessus ou en-dessous du sol
Restaurant	1'300 (3 %)	Restaurant du personnel et cafétéria, cuisine incluse, pour le repas de midi et collations diverses
Entrepôt/techn./ locaux annexes	5'200 (12 %)	Archives, entrepôts sans exigences particulières pour le climat intérieur, locaux techniques CVCSE, etc.
Garage	6'600 (16 %)	Parking pour utilisation interne

Tableau 5–5: Découpage en zones du bâtiment administratif dans la phase des études préalables

Dans différentes zones, les indications sur l'utilisation différaient de celles des valeurs indiquées dans les tableaux 2 et 3 de la recommandation SIA 380/4 (voir tableaux 5–6, 5–7; les valeurs qui diffèrent sont mises en gras): dans les surfaces de circulation, des valeurs d'éclairement de 150 lux au lieu de 50 lux ont été exigées par le maître de l'ouvrage. Les heures d'utilisation dans le restaurant du personnel n'atteignent que 2750 h/a au lieu de 3600 h/a, comme dans un restaurant public.

5.2.3 Détermination des exigences

Pour les zones correspondant aux heures et conditions d'utilisation indiquées dans les tableaux 2 et 3 de la recommandation SIA 380/4, on a repris les valeurs-limites et les valeurs-cibles de la recommandation.

Sur la base du niveau d'exigences fixé dans le cahier des charges (tableau 5–4), on introduit comme indication d'objectif pour la demande d'électricité d'éclairage et de ventilation ou de climatisation la valeur moyenne entre les valeurs-limites et les valeurs-cibles (tableaux 5–6 et 5–7).

Zone	Durée d'utilis. [h/a]	Eclaire-ment [Lux]	Eclair. déco [W/m^2]	Utilis. lum. nat. [–]	Fréqu. d'utilis. [–]	Valeur-limite	Valeur-cible	Indicat. maître d'ouvr.
Bureaux	2750	500		en partie		70	40	55
Restaurant	**2750**	200		en major.		35	23	29
Circulation	2750	**150**		en major.		28	16	22
Entrepôt/tech.	2750	100		sans	peu	7	3	5
Garage	2750	50		sans		30	20	25

Tableau 5–6: Exigences en matière de demande d'électricité spécifique [MJ/m^2a] pour l'éclairage dans la phase des études préalables

Zone	Durée d'utilis. [h/a]	Surface par pers. [m^2/P]	Proport. fumeurs [–]	Charges internes [W/m^2]	Fréquence d'utilisat. [–]	Valeur limite	Valeur cible	Indicat. maître d'ouvr.
Bureaux	2750	10	0	30		40	20	30
Restaurant	**2750**	2.0	50 %			38	14	25
Circulation	2750							
Entrepôt/techn.	2750	3.0 *)			élevée	10	5	8
Garage	2750	2.0 *)				5	3	4

*) Débit spécifique d'air neuf [m^3/hm^2]

Tableau 5–7: Exigences en matière de demande spécifique d'électricité [MJ/m^2a] pour la ventilation ou la climatisation dans la phase des études préalables

5.2.4 Estimation de la demande d'électricité

Demande spécifique d'électricité

La demande spécifique d'électricité (voir tableau 5–9, formulaire 2) a été estimée sur la base des exigences fixées pour l'éclairage et la ventilation ou la climatisation (tableaux 5–6 et 5–7) et sur la base de valeurs d'expérience (voir paragraphe 4.2). Pour l'équipement des postes de travail, les valeurs d'expérience tirées de la recommandation (annexe A3 31) ont été prises en considération, car le futur exploitant n'a pu faire aucune déclaration sur les équipements informatiques et de télécommunications prévus. L'estimation des "services centraux" pour le restaurant a été effectuée sur la base de 500 repas servis par jour avec une demande d'électricité de 2.0 kWh/repas (cuisson, lavage, froid commercial, non compris l'éclairage et la ventilation ou la climatisation).

Bilan électrique

Le bilan électrique (formulaire 1) montre les principales contributions à la demande d'électricité et les priorités en matière d'optimisation pour l'avant-projet. Dans les bureaux, l'équipement des postes de travail a besoin d'être défini de façon concrète. Mais la demande d'électricité pour l'éclairage et la ventilation ou la climatisation est aussi importante. La demande d'électricité du restaurant est déterminée par les services centraux. En ce qui concerne les surfaces de circulation et le garage, la demande d'électricité provient principalement de l'éclairage.

Indices de dépense d'énergie

Les indices partiels de dépense d'énergie (formulaire 3) ont été dérivés du formulaire 1 puis comparés avec les exemple pour des bâtiments typiques de l'annexe A3 4 de la recommandation (tableau 5–8).

Indices de dépense d'énergie [MJ/m^2a]	Equip. postes travail	Services centraux	Eclairage	Ventilation ou climatisat.	Diverses techniques	Electricité totale
Immeuble de bureaux 1	18	8	23	15	20	84
Immeuble de bureaux 2	25	23	38	30	20	136
Valeurs de l'objet (sans le restaurant)	**48**	**0**	**46**	**20**	**20**	**134**

Tableau 5–8: Comparaison des indices partiels de dépense d'énergie avec les exemples tirés de la recommandation SIA 380/4, état des études préalables (sans restaurant)

La demande d'électricité pour l'éclairage et la ventilation ou la climatisation atteint des valeurs du même ordre de grandeur que celles de l'immeuble de bureaux n° 2. Sur la base d'une meilleure utilisation de la lumière naturelle et de la ventilation par les fenêtres, il y a toutefois pour l'éclairage et la ventilation ou la climatisation encore un potentiel d'optimisation qui peut être étudié de plus près dans l'avant-projet.

Bilan électrique en MWh/a **Formulaire 1**

Prestation / Zone	SP m²	SRE m²	Equip. d'exploitation: Equipement postes travail	Equip. d'exploitation: Services centraux	Installations des bâtiments: Eclairage	Installations des bâtiments: Ventilation ou climatisation	Installations des bâtiments: Diverses techniques	Chaleur d'origine électrique	Total
Bureau	19'200	19'200	427		293	160			880
Restaurant	1'300	1'300		250	10	9			270
Circulation	10'200	8'400			62				62
Entrepôt/technique	5'200	4'500			7	11			18
Garage	6'600				46	7			53
							186		186
Total	42'500	33'400	427	250	419	187	186		1'469

Demande spécifique d'électricité en MJ/m²a **Formulaire 2**

Prestation / Zone	SP m²	SRE m²	Equip. d'exploitation: Equipement postes travail	Equip. d'exploitation: Services centraux	Installations des bâtiments: Eclairage	Installations des bâtiments: Ventilation ou climatisation	Installations des bâtiments: Diverses techniques	Chaleur d'origine électrique	Total
Bureau	19'200		80		**55**	**30**			
Restaurant	1'300				**29**	**25**			
Circulation				692	**22**				
Entrepôt/technique					**5**	**8**			
Garage					**25**	**4**			

Indices de dépense d'énergie en MJ/m²a **Formulaire 3**

Prestation	SRE m²	Equip. d'exploitation: Equipement postes travail	Equip. d'exploitation: Services centraux	Installations des bâtiments: Eclairage	Installations des bâtiments: Ventilation ou climatisation	Installations des bâtiments: Diverses techniques	Chaleur d'origine électrique	Total: Indice de dépense d'énergie électrique
Indices partiels de dépense d'énergie		46	27	45	20	20		158
Somme des indices partiels pour l'éclairage et la ventilation ou la climatisation					65			

SP: surface de plancher / SRE: surface de référence énergétique / 1 MWh = 3600 MJ

Tableau 5–9: Représentation normalisée de la demande d'électricité, en phase des études préalables

5.3 Avant-projet

5.3.1 Hypothèses constructives et choix de système des installations des bâtiments

Hypothèses constructives

Le complexe de bâtiments avec ses cours intérieures a été orienté dès le départ en vue d'une utilisation optimale de la lumière naturelle. Sur la base de simulations de l'apport de lumière naturelle (figure 5–10) et d'essais sur un local modèle, les mesures constructives présentées au tableau 5–11 ont été définies. Dans le but de donner suite à une des exigences principales du maître de l'ouvrage, qui est de pouvoir renoncer à une climatisation active, des mesures constructives supplémentaires ont dû être prises (voir tableau 5–11). Des simulations dynamiques ont montré qu'en été, dans ces conditions, les températures dans les locaux pouvaient être tenues en-dessous de 28 °C.

Indications concernant les équipements d'exploitation

Sur la base du concept informatique et de télécommunications, les locaux informatiques centraux ont été regroupés et séparés des autres locaux (pour l'installation d'un serveur). Les surfaces de ces locaux climatisés ont été limitées au maximum, tout en conservant des surfaces de réserve. Les charges thermiques internes dans les surfaces de bureaux ont été encore réduites par l'installation des imprimantes de départements et des photocopieurs dans des zones séparées.

Choix de système des installations des bâtiments

Le bâtiment a été dimensionné de façon à présenter une flexibilité maximale concernant les installations. Des conceptions techniques simples, maîtrisables, combinées à une construction modulaire doivent rendre possible en toute circonstance le développement et la modification des installations. Ces installations et la fourniture d'énergie ont été dimensionnées de façon sobre, en fonction des exigences déterminées au moment des travaux d'avant-projet. Seules des réserves de surface, mais pas de puissance, ont été prises dans la perspective d'un agrandissement.

Pour l'éclairage artificiel, des lampadaires (direct/indirect) ou bien des plafonniers pourvus de commandes électroniques et de détecteurs de présence intégrés, avec détecteur de lumière naturelle, ont été prévus.

On a renoncé pour tous les bureaux à une ventilation mécanique. Afin que, en cours d'exploitation du bâtiment, on puisse si nécessaire installer des systèmes de ventilation ponctuels, la place nécessaire à la préparation d'air et à sa distribution a été réservée.

5.3.2 Découpage en zones et conditions d'utilisation

Le découpage en zones, tel qu'effectué lors des études préalables, a été repris pratiquement sans changement. La seule nouveauté concerne la zone "informatique". Les conditions d'utilisation ont été adaptées sur la base de l'avant-projet (tableaux 5–12 et 5–13). L'utilisation de la lumière naturelle a été améliorée, et les charges internes dans les bureaux ont pu être réduites.

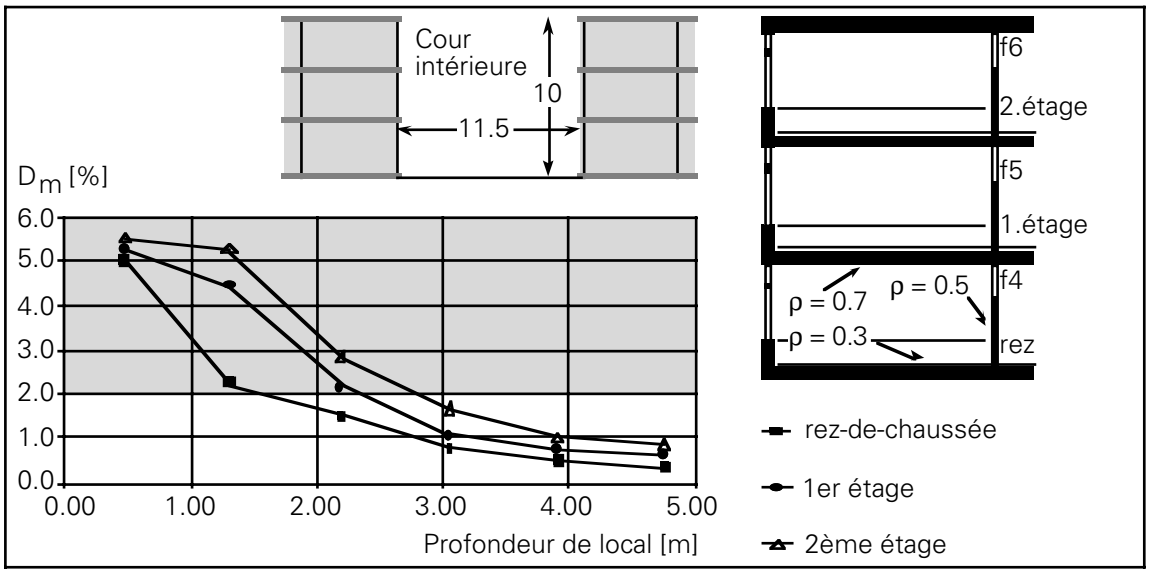


Figure 5–10: Résultats de la simulation de la lumière naturelle, variation du facteur de lumière naturelle (D_m) dans un bureau

Eclairage
• Façades claires dans les cours intérieures
• Placer le bord supérieur des fenêtres aussi haut que possible (pas de linteau)
• Prévoir des bordures de fenêtres claires et des éléments de vitrage transparents pour les raccords aux façades
• Minimiser la part de la surface prise par les cadres de fenêtres (résultats importants déduits des essais sur local modèle)
• Des surfaces transparentes sont à prévoir entre des bureaux clairs et des corridors intérieurs
• Des couleurs claires pour les parois, le plafond, le sol et l'ameublement
Ventilation ou climatisation
• Planter de la verdure dans les cours intérieures, afin d'empêcher un échauffement excessif
• Des stores à lamelles à commande centralisée et contrôlables séparément représentent une protection solaire extérieure optimale
• Les plafonds en béton des bureaux possèdent une masse thermique active suffisante

Tableau 5–11: Mesures constructives prises en vue de réduire la demande d'électricité pour l'éclairage et la ventilation ou la climatisation

5.3.3 Adaptation des exigences

Les exigences définies lors des études préalables sont adaptées à l'état de l'avant-projet (voir tableau 5–12, 5–13, les valeurs modifiées doivent être indiquées en gras).

Zone	Durée d'utilis. [h/a]	Eclaire-ment [Lux]	Eclair. déco [W/m^2]	Utilis. lumière nat. [–]	Fréquence d'utilisat. [–]	Valeur-limite	Valeur-cible	Indication maître ouvrage
Bureaux	2750	**300**		**princip.**		35	12	24
Informatique	2750	**300**		**princip.**		35	12	24
Restaurant	2750	200		princip.		35	23	29
Circulation	2750	150		princip.		28	16	22
Entrpôt/techn.	2750	100		sans	faible	7	3	5
Garage	2750	50		sans		30	20	25

Tableau 5–12: Exigences en matière de demande spécifique d'électricité [MJ/m^{2}a] pour l'éclairage dans l'avant-projet

Zone	Durée d'utilis. [h/a]	Surface par pers. [m^2/P]	Proport fumeurs [–]	Charges internes [W/m^2]	Fréquen. d'utilisat. [–]	Valeur-limite	Valeur-cible	Indication maître ouvrage
Bureaux	2750	**15**	0	**<20**		0	0	0
Informatique	**8760**			**50**		217	135	176
Restaurant	2750	2	50 %			38	14	26
Circulation	2750							
Entrpôt/techn.	2750	3.0 *)			élevée	10	5	8
Garage	2750	3.0 *)				5	3	4

*) Débit spécifique d'air extérieur [m^3/hm^2]

Tableau 5–13: Exigences en matière de demande spécifique d'électricité [MJ/m^{2}a] pour la ventilation ou la climatisation dans l'avant-projet

5.3.4 Représentation normalisée de la demande d'électricité

Demande spécifique d'électricité

De la même façon que lors des études préalables, la demande d'électricité (tableau 5–15) a également été estimée dans l'avant-projet suivant la méthode décrite au paragraphe 4.2 en fonction des exigences posées et des valeurs d'expérience.

Indices de dépense d'énergie

Pour les indices partiels de dépense d'énergie (tableau 5–14) il y a eu un décalage du centre de gravité de la consommation de l'équipement des postes de travail vers les services centraux. De plus, les indices partiels de dépense d'énergie pour l'éclairage et la ventilation ou la climatisation ont fortement diminué (voir tableaux 5–8 et 5–14).

Indices de dépense d'énergie [MJ/m^{2}a]	**Equipem. postes travail**	**Services centraux**	**Eclairage**	**Ventilation ou climatisat.**	**Diverses techniques**	**Electr. totale**
Immeuble de bureaux 1	18	8	23	15	20	84
Immeuble de bureaux 2	25	23	38	30	20	136
Valeurs d'objet (sans le restaurant)	**23**	**22**	**28**	**5**	**20**	**98**

Tableau 5–14: Comparaison des indices partiels de dépense d'énergie avec des exemples provenant de SIA 380/4, en phase d'avant-projet (sans restaurant)

Bilan électrique en MWh/a **Formulaire 1**

Prestation			**Equip. d'exploitation**		**Installations des bâtiments**				**Total**
Zone	SP m^2	SRE m^2	Equipement postes travail	Services centraux	Eclairage	Ventilation ou climatisation	Diverses techniques	Chaleur d'origine électrique	
Bureau	19'200	19'200	213		125				339
Informatique	500	500		197	5	24			225
Restaurant	1'300	1'300		250	10	9			270
Circulation	10'200	8'400			62				62
Entrepôt/technique	5'200	4'500			7	11			18
Garage	6'600				46	7			53
Bâtiment							188		188
Total	43'000	33'900	213	447	254	52	188		1'154

Demande spécifique d'électricité en MJ/m^{2}a **Formulaire 2**

Prestation			**Equip. d'exploitation**		**Installations des bâtiments**				**Total**
Zone	SP m^2	SRE m^2	Equipement postes travail	Services centraux	Eclairage	Ventilation ou climatisation	Diverses techniques	Chaleur d'origine électrique	
Bureau	19'200		40		**24**				
Informatique	500			1'418	**24**	**176**			
Restaurant	1'300			692	**29**	**26**			
	10'200				**22**				
Entrepôt/technique	5'200				**5**	**8**			
Garage	6'600				**25**	**4**			

Indices de dépense d'énergie en MJ/m^{2}a **Formulaire 3**

Prestation		**Equip. d'exploitation**		**Installations des bâtiments**				**Total**
	SRE m^2	Equipement postes travail	Services centraux	Eclairage	Ventilation ou climatisation	Diverses techniques	Chaleur d'origine électrique	Indice de dépense d'énergie électrique
Indices partiels de dépense d'énergie		23	47	27	6	20		123
Somme des indices partiels pour l'éclairage et la ventilation ou la climatisation					33			

SP: surface de plancher / SRE: surface de référence énergétique / 1 MWh = 3600 MJ

Tableau 5–15: Représentation normalisée de la demande d'électricité, en phase d'avant-projet

5.4 Projet

5.4.1 Découpage en zones et conditions d'utilisation

Sur la base de la connaissance détaillée du bâtiment, de son utilisation et des installations prévues, le découpage en zones peut être notablement affiné dans la phase de projet.

5.4.2 Représentation normalisée de la demande d'électricité

Demande spécifique d'électricité

La demande spécifique d'électricité est déterminée sur la base du calcul simplifié selon paragraphe 4.3. Le calcul complet est présenté à l'annexe A3 de cette documentation. Comme point de départ de ce calcul, on dispose d'une part des heures et conditions d'utilisation des différentes zones, d'autre part des données de projet des installations des bâtiments (voir tableau 5–16). Les résultats du calcul ont été reportés au tableau 5–18.

Eclairage	**"Bureau"**
Luminaires prévus	lampes sur pieds
Rendement des luminaires η_E	65 %
Lampes prévues	36 W PL
Efficacité lumineuse	75 lm/W (ballast électronique compris)
Puissance raccordée totale	176 kW
Heures à pleine charge	850 h/a
Ventilation ou climatisation	**"Grandes salles de conférence "**
Débit d'air soufflé	3850 m^3/h
Puissance du ventilateur (à 2 vitesses)	1.8 kW
Heures à pleine charge	1200 h/a
Batterie de refroidissement	23 kW
Heures à pleine charge	560 h/a

Tableau 5–16: Exemples de données techniques comme base pour les calculs en phase de projet

Indices de dépense d'énergie

Le tableau 5–17 montre les indices partiels de dépense d'énergie du projet en comparaison avec les résultats précédents. Les écarts sur la demande totale d'électricité sont relativement faibles. Au fur et à mesure de l'augmentation du degré de détail, on voit par contre apparaître d'importants décalages entre les indices partiels de dépense d'énergie des différentes prestations.

Indices de dépense d'énergie [MJ/m^2a]	**Equipem. postes de travail**	**Services centraux**	**Eclairage**	**Ventilat. ou climatisat.**	**Diverses tech-niques**	**Electricité total**
Etudes préalables	48	0	46	20	20	134
Avant-projet	23	22	28	5	20	98
Projet	**31**	**21**	**31**	**7**	**20**	**110**

Tableau 5–17: Comparaison des indices partiels de dépense d'énergie (sans restaurant) des différentes phases de planification

Bilan électrique en MWh/a — **Formulaire 1**

Prestation			Equip. d'exploitation		Installations des bâtiments				Total
Zone	SP m²	SRE m²	Equipement postes travail	Services centraux	Eclairage	Ventilation ou climatisation	Diverses techniques	Chaleur d'origine électrique	
Bureau	18'671	18'671	196.4		147.9				344
Surface de circul. étages	8'697	8'697	53.8		52.7				107
Salles de conférences	258	258	1.5		3.4	6.9			12
Restaurant/cafétéria	842	842			11.2	13.1			24
Cuisine	476	476		250.0	8.7	16.4			275
Entrepôt du restaurant	133				0.6				1
Surface de circul. souterr.	1'862				16.9				17
WC/locaux de nettoyage	880	880			4.4	5.2			10
Technique	1'590				1.1				1
Entrepôt	4'450				3.0	4.7			8
Locaux informatiques	469	469		166.4	6.2	27.1			200
Garage	6'579	0			16.3	12.6			29
Bâtiment							170		170
Total	44'907	30'293	252	416	272	86	170		1'196

Demande spécifique d'électricité en MJ/m²a — **Formulaire 2**

Prestation			Equip. d'exploitation		Installations des bâtiments				Total
Zone	SP m²	SRE m²	Equipement postes travail	Services centraux	Eclairage	Ventilation ou climatisation	Diverses techniques	Chaleur d'origine électrique	
Bureau	18'671		38		**29**				
Surface de circul. étages	8'697		22		**22**				
Salles de conférences	258		22		**47**	**96**			
Restaurant/cafétéria	842				**48**	**56**			
Cuisine	476			1'891	**66**	**124**			
Entrepôt du restaurant	133				**15**				
Surface de circul. souterr.	1'862				**33**				
WC/locaux de nettoyage	880				**18**	**21**			
Technique	1'590				**2**				
Entrepôt	4'450				**2**	**4**			
Locaux informatiques	469			1'277	**47**	**208**			
Garage	6'579				**9**	**7**			

Indices de dépense d'énergie en MJ/m²a — **Formulaire 3**

Prestation		Equip. d'exploitation		Installations des bâtiments				Total
	SRE m2	Equipement postes travail	Services centraux	Eclairage	Ventilation ou climatisation	Diverses techniques	Chaleur d'origine électrique	Indice de dépense d'énergie électrique
Indices partiels de dépense d'énergie	30'293	30	49	32	10	20		142
Somme des indices partiels de dépense d'énergie pour l'éclairage et la ventilation ou la climatisation				42				

SP: surface de plancher / SRE: surface de références énergétique / 1 MWh = 3600 MJ

Tableau 5–18: Représentation normalisée de la demande d'électricité, phase de projet, bilan électrique (formulaire 1). Les valeurs encadrées dans le formulaire 1 sont les valeurs de contrôle qui dictent le principe de mesure à adopter.

5.4.3 Comparaison avec les exigences requises

Eclairage

Les valeurs d'objet pour la demande spécifique d'électricité pour l'éclairage se situent entre les valeurs-limites et les valeurs-cibles (tableau 5–19). Les exigences de la recommandation SIA 380/4 sont ainsi remplies. Les exigences relatives au cahier des charges du maître de l'ouvrage (voir paragraphe 5.2.1) ne sont cependant pas tout à fait atteintes pour la zone "bureaux".

Zone	Durée d'util. [h/a]	Eclairement [Lux]	Eclair. déco [W/m^2]	Utilis. lumière nat. [–]	Fréquen. d'utilisat. [–]	Valeur limite	Valeur cible	Valeur-d'objet
Bureaux	2750	350		en maj.		44	23	29
Surf. circ. étages	2750	150		en maj.		20	12	22
Salles conférences	2000	500		en part.		50	25	47
Restaurant	2750	300	1.5	en maj.		57	36	48
Cuisine	1500	500		sans		73	47	66
Entrepôt restaur.	2750	200		sans	élevée	25	15	15
Surf. circul. souterr.	2750	150		sans		51	35	33
WC/locaux nettoy.	2750	150		sans		51	35	18
Technique	2750	100		sans	faible	7	3	2
Entrepôt	2750	100		sans	faible	7	3	2
Locaux informat.	8760	300		sans		89	54	47
Garage	2750	50		sans		29	18	9

Tableau 5–19: Comparaison des exigences concernant la demande spécifique d'électricité pour l'éclairage [MJ/m^{2}a] selon recommandation SIA 380/4 avec les valeurs calculées de la demande spécifique d'électricité (valeurs d'objets)

Ventilation ou climatisation

Certains objets dépassent largement la valeur-limite, si bien que ni les exigences de la recommandation SIA 380/4 ni celles du maître de l'ouvrage ne sont tenues (tableau 5–20). Les débits adoptés dans la planification ainsi que les heures à pleine charge comportent cependant encore en elles un important potentiel d'optimisation.

Zone	Durée d'util. [h/a]	Surface par pers. [m^2/P]	Proport. fumeurs [–]	Charges internes [W/m^2]	Fréqu. d'utilisat. [–]	Valeur limite	Valeur cible	Valeur-d'objet
Bureaux	2750	10.0	0 %	<20				
Surf. circ. étages	2750							
Salles conférences	2000	3.0	0 %	40		60	20	93
Restaurant	2750	1.2	50 %			63	23	56
Cuisine	1500	60.0 *)				117	57	124
Entrep. restaur.	2750							
Surf. circ. souterr.	2750							
WC/locaux nettoy.	2750	15.0 *)				30	10	21
Technique	2750							
Entrepôt	2750	3.0 *)			peu	5	2	4
Loc. informatique	8760			50		217	140	208
Garage	2750	2.0 *)				5	3	7

*) Débit spécifique d'air [m^3/hm^2]

Tableau 5–20: Comparaison des exigences vis-à-vis de la demande spécifique d'électricité pour la ventilation ou la climatisation [MJ/m^{2}a] selon recommandation SIA 380/4 avec les valeurs calculées de la demande spécifique d'électricité (valeurs d'objets)

5.4.4 Principe de mesure

Le principe de mesure constitue la base d'une vérification des performances et de l'exploitation optimale. Le bâtiment est prévu pour usage propre, si bien qu'il n'est pas nécessaire de prévoir des points de mesure pour la facturation. Le restaurant et la cafétéria (cuisine inclue) seront cependant exploités par une entreprise extérieure, à laquelle les coûts énergétiques sont refacturés.

Le bilan électrique (voir tableau 5–18) constitue la base pour le principe de mesure (voir figure 5–21). Les consommations des équipements les plus gros ainsi que de ceux ayant une forte consommation spécifique d'électricité, comme p. ex. les services centraux des zones informatiques ou de la cuisine devraient être saisies par le dispositif de mesure. Dans ce type d'opération, il ne faut pas perdre de vue les coûts d'investissement des dispositifs de mesure et les économies possibles d'énergie. En ce qui concerne la saisie de la consommation d'électricité de consommateurs fonctionnant à puissance constante (p. ex. installations de ventilation à une ou plusieurs vitesses), il est possible en règle générale de recourir à des compteurs d'heures de fonctionnement peu coûteux.

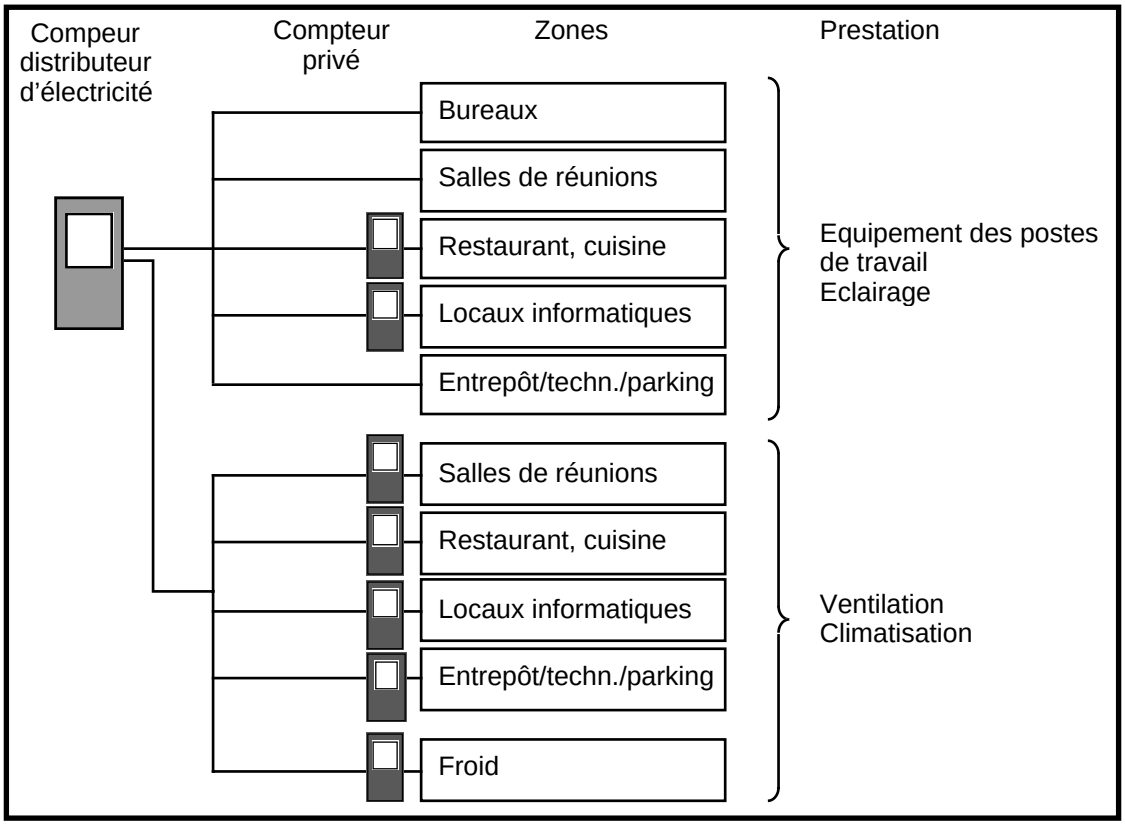


Figure 5–21: Schéma de l'alimentation en électricité avec les points de mesure

La mesure de la consommation d'électricité pour chaque prestation nécessite une structuration correspondante de la distribution d'électricité. Pour l'objet considéré, une mesure séparée de la consommation pour l'équipement des postes de travail et l'éclairage n'a pas été considérée comme appropriée. Par contre, la demande d'électricité pour la ventilation ou la climatisation est saisie à plus de 90 % par des mesures sur les installa-tions principales de ventilation et de production de froid. Pour le restaurant du personnel (les zones: restaurant, cuisine et entrepôt), les équipements d'exploitation (cuisine, froid commercial, etc.) et les installations de ventilation ou de climatisation sont saisis séparément. Finalement, de gros consommateurs isolés (> à environ 50 MWh/a) sont saisis séparément: parmi ceux-ci on trouve en particulier les locaux de l'informatique centrale.

Les valeurs de contrôle établies (voir tableau 5–18) fournissent une bonne base pour la vérification des performances.

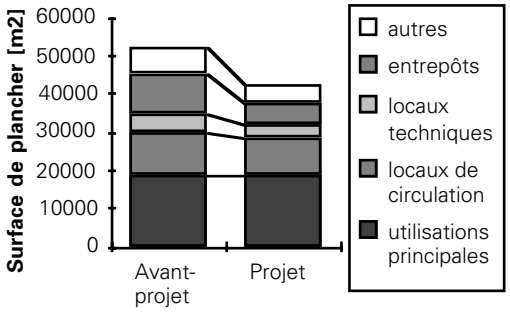
5.5 Utilité de l'application de la recommandation SIA 380/4

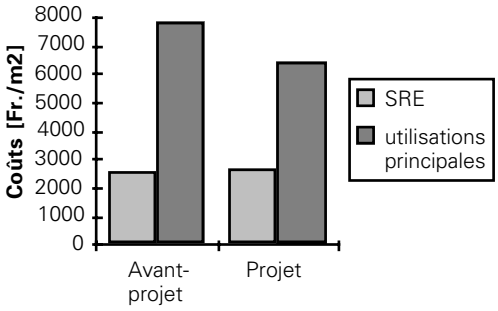
Grâce à l'application de la recommandation SIA 380/4 comme outil d'aide à la planification, les résultats suivants ont été atteints pour l'exemple considéré "construction neuve" :

- L'optimisation des conditions d'éclairage naturel, qui a pris en considération les locaux intérieurs et périphériques de tout le complexe, a permis de réaliser des places de travail de haute qualité.
- Une conception technique simple et transparente basée sur une construction modulaire permet en tout temps le développement et la modification des installations. La structure de base des installations de ventilation et de climatisation a été réduite au minimum nécessaire.
- Les coûts prévus (figure 5–22) ont été réduits de 15 % durant les études. Les coûts par poste de travail sont inférieurs de plus de 20 % par rapport aux valeurs habituelles du maître de l'ouvrage concerné.
- La demande d'énergie et les coûts d'exploitation prévus ont pu être notablement réduits par rapport à l'avant-projet.

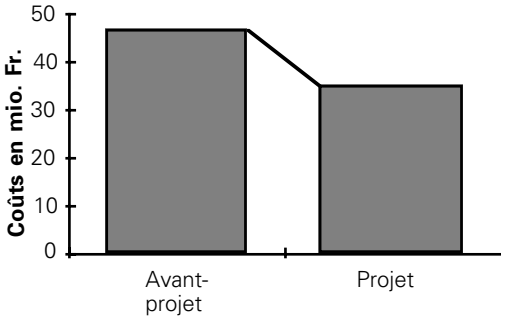
A la fin de la phase de projet, un système de contrôle de qualité a pu être mis en vigueur, qui garantit la mise en application des indications du cahier des charges dans la phase d'exécution et sert aussi de base pour l'exploitation optimale et la vérification des performances.

Coûts d'investissement pour le bâtiment





Coûts d'investissement pour les installations



C optimisation de la puissance

V/C installation de ventilation ou de climatisation simplifiée pour la cuisine, les salles de conférences, et l'informatique

bureau avec ventilation naturelle (déjà au stade de l'avant-projet), pouvant être rééquipé de façon modulaire

E renonciation au remplacement du réseau

Communication

câblage universel de bâtiment, structure de distribution simplifiée

Installations de transport

optimisation du nombre d'ascenseurs

Frais d'exploitation en matière d'énergie

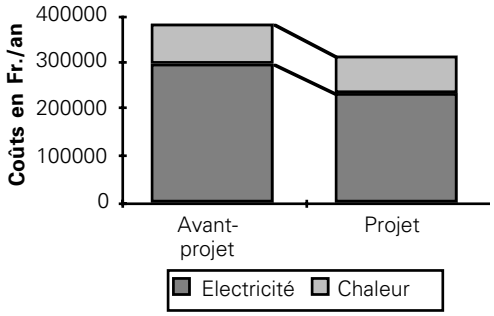


Figure 5–22: Résultats de l'optimisation dans l'exemple "construction nouvelle"

6. Exemple d'application au cas «rénovation»

6.1 Introduction 76

6.2 Analyse de la consommation d'électricité (études préalables) 78
6.2.1 Saisie de l'énergie consommée 78
6.2.2 Représentation normalisée de la demande d'électricité (situation réelle) 80
6.2.3 Exigences 82

6.3 Avant-projet 84
6.3.1 Variantes 84
6.3.2 Représentation normalisée de la demande d'électricité (avant-projet) 84
6.3.3 Comparaison avec les exigences 86

6.4 Projet et exécution 88
6.4.1 Mesures prises 88
6.4.2 Représentation normalisée de la demande d'électricité 88
6.4.3 Comparaison avec les exigences 88
6.4.4 Vérification des performances 88

6.5 Utilité de l'application de la recommandation SIA 380/4 90

6.1 Introduction

L'application la recommandation SIA 380/4 à un bâtiment existant est présentée à l'exemple de la rénovation d'une filiale d'un grand distributeur de produits alimentaires.

Le magasin est installé dans un bâtiment isolé d'un étage (figure 6–2 et figure 6–3). La construction sans fenêtres à toit plat est entièrement climatisée et a été construite en 1965. Le magasin a du être rénové, parce que l'installation de ventilation de la boucherie ne satisfaisait plus aux exigences légales et que la sécurité de fonctionnement des installations de froid commercial n'était plus assurée. En plus, l'utilisation de l'eau du réseau pour le refroidissement provoquait une trop grande consommation d'eau potable.

L'application la recommandation SIA 380/4 au processus de planification pour la rénovation du magasin est résumée au tableau 6–1 suivant.

Etape du processus de planification	**Eléments appliqués de SIA 380/4**
1. Analyse de la consommation d'électricité (études préalables)	
Relever l'état existant et saisir la consommation d'énergie	
Etablir le bilan électrique	Représentation normalisée
Déterminer les exigences et comparer avec les valeurs d'objet	Exigences
2. Avant-projet	
Etablir un catalogue de mesures en 3 variantes	
Déterminer la demande d'électricité	Représentation normalisée
Déterminer les exigences et comparer avec les valeurs d'objet	Exigences
3. Projet et exécution	
Choix de variante, planification et exécution	
Vérification des performances	Représentation normalisée

Tableau 6–1: Application de la recommandation SIA 380/4 dans le processus de planification de l'exemple «rénovation»

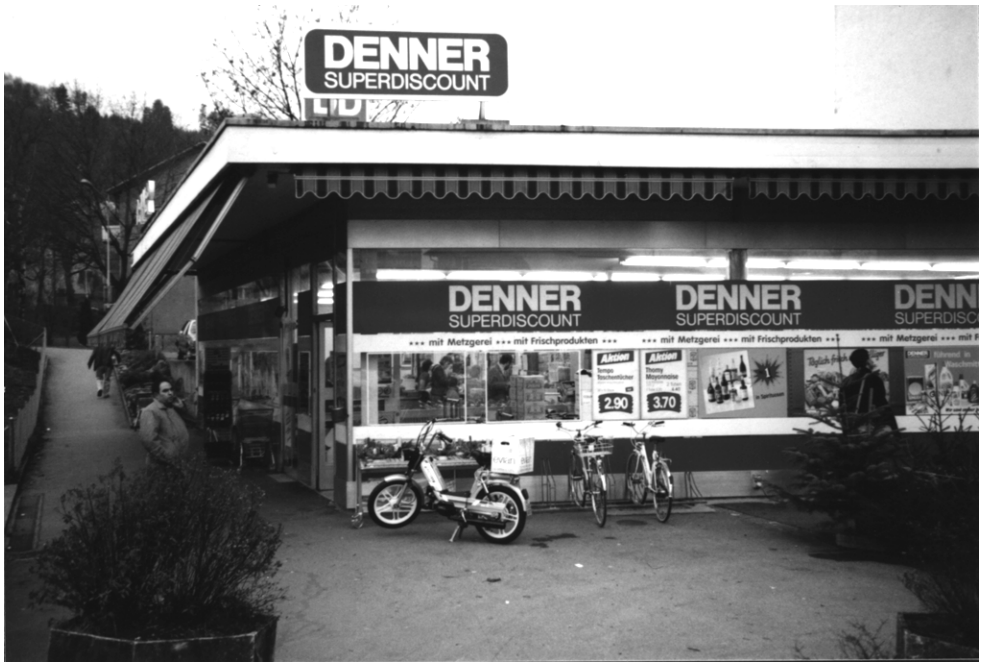


Figure 6–2: Vue de l'extérieur du magasin alimentaire

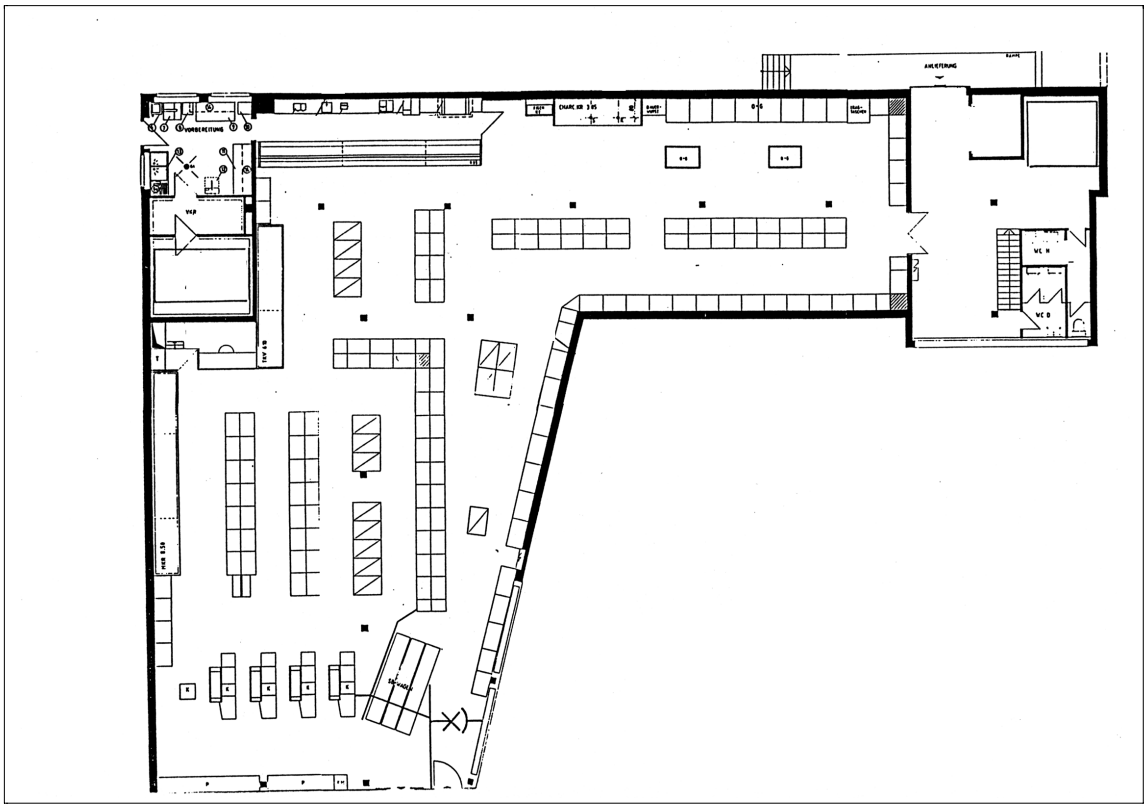


Figure 6–3: Dessin en plan du magasin alimentaire, rez-de-chaussée

6.2 Analyse de la consommation d'électricité (études préalables)

6.2.1 Saisie de l'énergie consommée

Consommation totale

Dans le but de se faire une idée de la consommation annuelle, des relevés de compteurs et calculs énergétiques ont été dépouillés (tableau 6–4).

Vecteur énergétique	**Consommation d'énergie** [MWh]	**Indice de dépense d'énergie** [MJ/m^{2}a]	**Frais d'énergie** [Fr/a]
Electricité	258	770	50'000.-
Chaleur (mazout)	440 (37'000 kg)	1300	20'000.-
Total			70'000.-

Tableau 6–4: Consommation et coût de l'énergie du magasin alimentaire considéré

Sur la base de l'exemple «magasin 1: alimentation» de la recommandation SIA 380/4 (annexe A3 4), une première estimation des indices partiels de dépense d'énergie a été réalisée (tableau 6–5). La demande d'électricité pour le froid commercial y a été déterminée de manière globale à partir de la consommation d'électricité durant la période de bas tarif. D'où il résulte un indice partiel de dépense d'énergie pour les «services centraux» de 340 MJ/m^{2}a. Les autres indices partiels de dépense d'énergie proviennent d'une répartition proportionnelle par prestation. Ce qui apparaît, c'est la consommation proportionnellement très élevée pour l'éclairage et la ventilation/climatisation. Ces prestations ont donc fait par la suite l'objet, sur une courte durée, d'une mesure avec saisie détaillée de la consommation.

Indice de dépense d'énergie [MJ/m^{2}a]	**Equipem. postes de travail**	**Services centraux**	**Eclairage**	**Ventilat ou climatis.**	**Diverses techniques**	**Electricité totale**
«Magasin 1» SIA 380/4	20	560	100	40	20	740
Valeur d'objet réelle	**50**	**340**	**230**	**100**	**50**	**770**

Tableau 6–5: Indices partiels de dépense d'énergie du magasin alimentaire (valeur d'objet réelle, phase des études préalables) en comparaison avec l'exemple «magasin 1: alimentation» de l'annexe A3 4 de SIA 380/4

Mesures de courte durée

Durant 14 jours, on a effectué sur les branches les plus importantes de la distribution principale (figure 6–6) une mesure continue (toutes les 5 minutes). Pour les consommateurs d'électricité importants (p.ex. le froid commercial), on a installé en plus des compteurs d'heures. La courbe de charge du magasin alimentaire dans son ensemble ainsi que celle de l'éclairage seul sont représentées à la figure 6–7 .

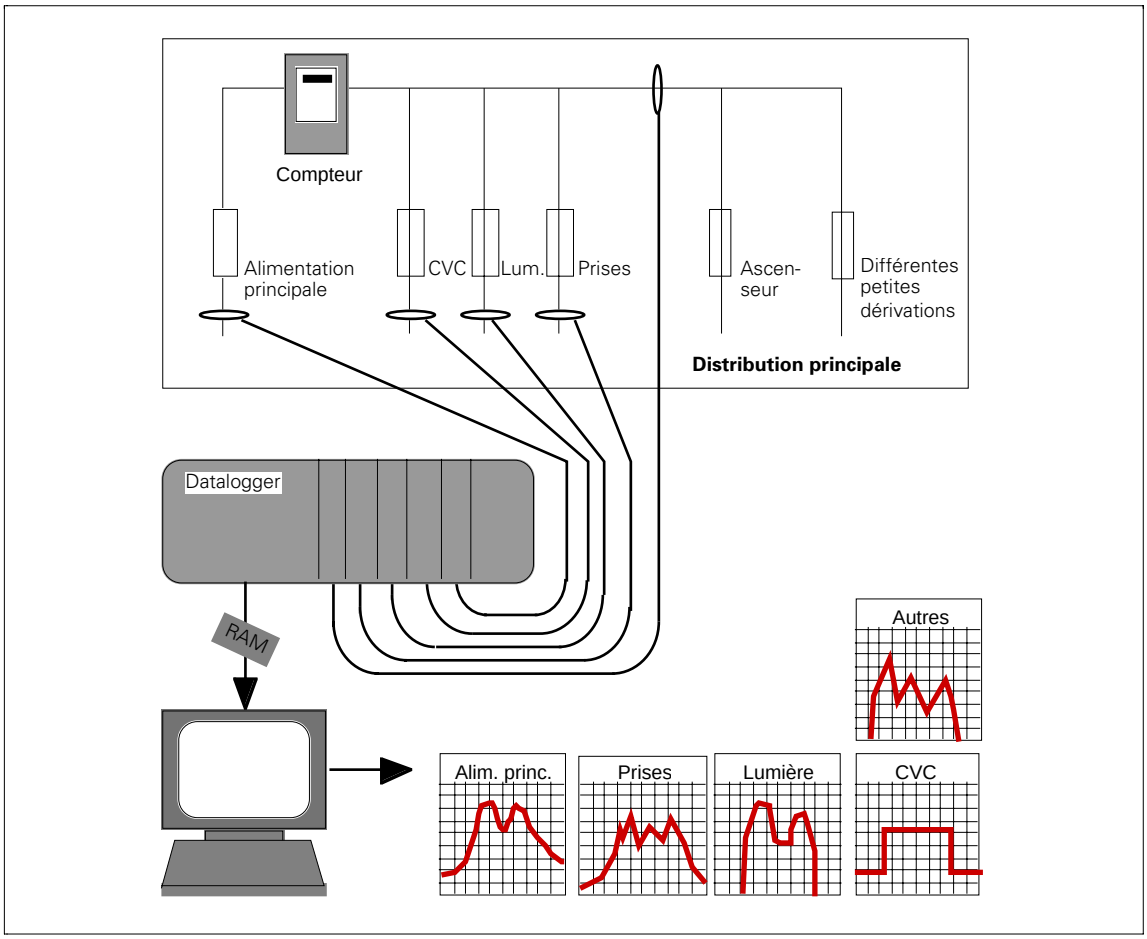


Figure 6–6: Schéma de distribution électrique avec les branches sur lesquelles sont effectuées des mesures

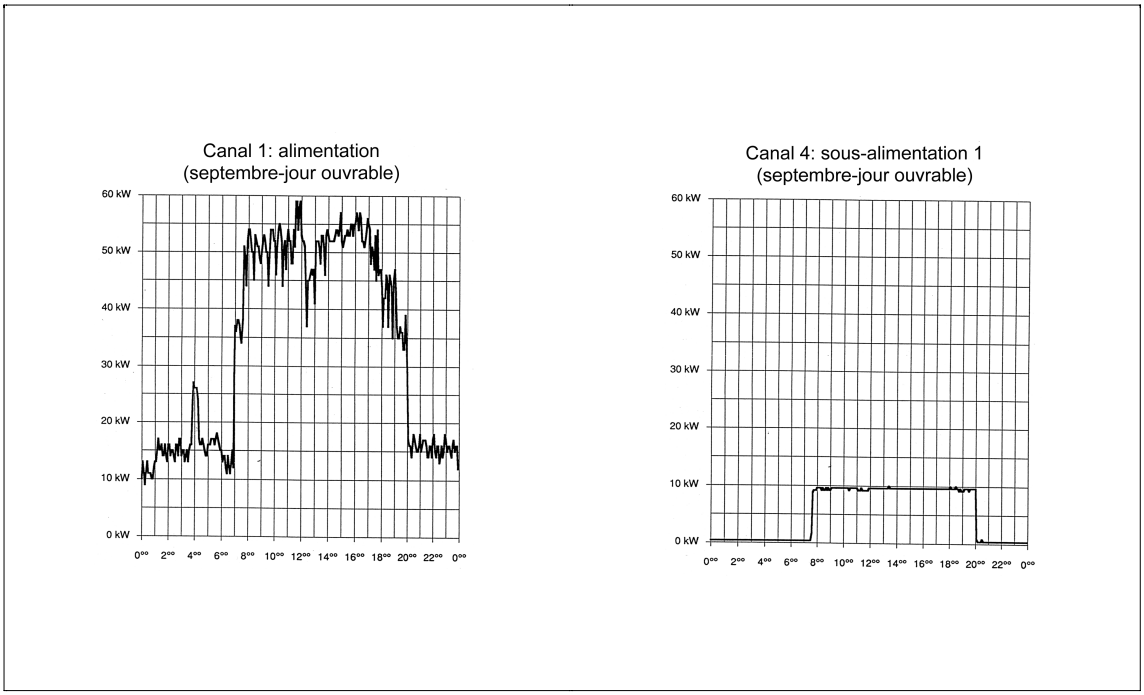


Figure 6–7: Résultats des mesures de la courbe de charge durant un jour de septembre

Liste des consommateurs
Le magasin a été partagé en zones de la façon suivante (tableau 6–8):

Zone	**Surface de plancher** [m^2]	**Utilisation**
Vente	600 (50 %)	Vente (rez-de-chaussée)
Boucherie	50 (4 %)	Vente (rez-de-chaussée)
Locaux frigorifiques	50 (4 %)	Entrepôt (rez-de-chaussée, sous-sol)
Entrepôt	300 (25 %)	Entrepôt (sous-sol)
Autres locaux	200 (17 %)	Entrepôt (bureau, WC, technique, place de déchargement, ...)

Tableau 6–8: Partage du magasin alimentaire en zones

Lors d'une visite des locaux, tous les consommateurs d'électricité ont été répertoriés. La puissance en exploitation d'appareils branchés sur une prise a été mesurée au moyen d'un wattmètre à main. A l'aide de mesures de la courbe de charge, de compteurs d'heures de fonctionnement et d'enquêtes auprès des utilisateurs, les durées annuelles d'utilisation et les heures à pleine charge ont été estimées.

Une liste détaillée des consommateurs a été établie (tableau 6–9). Nous indiquons, à l'exemple de l'éclairage, comment il a été procédé:

- Détermination de la puissance par consommateur pour les différentes zones
- Calcul de la puissance raccordée totale en watt
- Détermination de la puissance spécifique en W/m^2 à partir de la puissance raccordée et de la surface de plancher de la zone («surface approvisionnée»)
- Les heures à pleine charge de l'éclairage ont été dérivées des mesures de la courbe de charge, respectivement des heures d'ouverture du magasin.
- La demande d'électricité des consommateurs est calculée à partir de la puissance et des heures à pleine charge.

6.2.2 Représentation normalisée de la demande d'électricité (situation réelle)

Les données provenant de la saisie des consommations d'énergie ont constitué la base de la représentation normalisée de la demande d'électricité dans l'état réel (tableau 6–12). La liste des consommateurs (tableau 6–9) a été évaluée par zones et le bilan électrique résultant (formulaire 1) a été déterminé. Près de 90 % de la demande d'électricité provient des deux zones «vente» et «boucherie».

Liste des consommateurs du magasin d'alimentation									
N°	Dérivation	Zone	Prestation	Type de consommateur	Nombre	Puissance consommateur [W]	Puissance totale [kW]	Heures à pleine charge [h/a]	Consommation d'énergie [MWh/a]
1	autres	chambres frigorifiques	éclairage	lumin. fluoresc. ouverts à 1 lam. 36 watt, ballast électronique	13	45	0.59	3'600	2.1
2	autres	entrepôt	éclairage	lumin . fluoresc. ouverts à 1 lam. 36 watt, ballast électronique	50	45	2.25	3'600	8.1
3	autres	boucherie	éclairage	lumin. fluoresc. ouverts à 1 lam. 36 watt, ballast électronique	30	45	1.35	3'600	4.9
4	groupe. distr. 2	autres	éclairage	lumin. fluoresc. ouverts à 1 lam. 36 watt, ballast électronique	15	45	0.68	3'600	2.4
5	groupe. distr. 1	vente	éclairage	lumin. suspend. ouvert à 1 lam. 36 watt, ballast électronique	110	90	9.90	3'600	35.6
6	groupe. distr. 2	vente	éclairage	lumin. fluoresc. ouverts à 1 lam. 36 watt, ballast électronique	70	45	3.15	3'600	11.3
7	autres	bâtiment complet	diverses techniques	ascenseur matériaux entraînement hydraulique	1	15'000	15.00	160	2.4
8	autres	boucherie	ventilat. ou climatisation	humidificateur à vapeur	1	4'000	4.00	2'000	8.0
9	autres	boucherie	ventilat. ou climatisation	ventilateur d'ext, de soufl, de roul. pas de récupération de chaleur	1	1'800	1.80	3'600	6.5
10	autres	boucherie	ventilat. ou climatisation	compresseur frigorifique puiss. froid = 13 kW	1	4'400	4.40	680	3.0
11	autres	vente	ventilat. ou climatisation	ventilateur d'ext, de soufl, de roul. pas de récupération de chaleur	1	2'400	2.40	3'600	8.6
12	autres	vente	ventilat. ou climatisation	compresseur frigorifique puiss. froid = 55 kW	1	9'400	9.40	760	7.1
13	autres	vente/ boucherie	ventilat. ou climatisation	refroidissement 50% boucherie, 50% vente	1	4'600	4.60	1'400	6.4
14	autres	boucherie	équipement postes travail	machines à trancher, etc	12	1'800	21.60	500	10.8
15	autres	autres	équipement postes travail	balances, monte-charges, etc.	10	800	8.00	500	4.0
16	groupe. distr. 2 /chaleur	vente	équipement postes travail	caisses, moulins à café, réchaud, etc.	10	200	2.00	3'600	7.2
17	moteurs install. frigor.	chambres frigorifiques	services centraux	froid commercial: compresseurs	2	800	1.60	4'000	6.4
18	moteurs install. frigor.	chambres frigorifiques	services centraux	froid commercial: ventilateurs	2	150	0.30	8'000	2.4
19	moteurs install. frigor.	chambres frigorifiques	services centraux	froid commercial: chauffage de cadres	3	200	0.60	4'000	2.4
20	moteurs install. frigor.	chambres frigorifiques	services centraux	froid commercial: dégivrage	12	2'100	25.20	50	1.3
21	moteurs install. frigor.	boucherie	services centraux	froid commercial: compresseurs	2	1'200	2.40	4'000	9.6
22	moteurs install. frigor.	boucherie	services centraux	froid commercial: ventilateurs	5	200	1.00	7'000	7.0
23	moteurs install. frigor.	boucherie	services centraux	froid commercial: dégivrage	1	6'300	6.30	200	1.3
24	moteurs install. frigor.	boucherie	services centraux	froid commercial: chauffage de cadres	1	3'500	3.50	0	0.0
25	moteurs install. frigor.	vente	services centraux	froid commercial: compresseurs	3	3'000	9.00	6'800	61.2
26	moteurs install. frigor.	vente	services centraux	froid commercial: chauffage de cadres	3	900	2.70	8'760	23.7
27	moteurs install. frigor.	vente	services centraux	froid commercial: ventilateurs	12	80	0.96	8'760	8.4
28	moteurs install. frigor.	vente	services centraux	froid commercial: dégivrage	2	5'400	10.80	550	5.9
	Total				375		155.47		258.1

Tableau 6–9: Liste des consommateurs d'électricité du magasin alimentaire

6.2.3 Exigences

Les exigences pour l'éclairage et la ventilation ou la climatisation selon recommandation SIA 380/4 ont été déterminées au moyen des heures et conditions effectives d'utilisation (tableaux 6–10 et 6–11). Pour la boucherie par exemple, on tient compte du débit minimal nécessaire sur le plan hygiénique.

Zone	Durée d'util. [h/a]	Eclaire-ment [lux]	Eclair. déco. [W/m^2]	Utilis. lumière natur. [–]	Fréquen. d'utilis. [–]	Valeur limite	Valeur cible	Valeur d'objet réelle
Vente	3600	700	0	sans		245	150	282
Boucherie	3600	700	0	sans		245	150	353
Locaux frigorifiques	3600	50		sans	élevée	14	8	151
Entrepôts	3600	100		sans	continue	52	33	97
Autres	3600	250		sans	continue	99	61	43

Tableau 6–10: Comparaison de la demande spécifique d'électricité pour l'éclairage (valeurs d'objets réelles [MJ/m^{2}a]) calculée à partir de la saisie des consommations avec les valeurs-limites et valeurs-cibles selon recommandation SIA 380/4, dans le cas des conditions d'utilisation existantes

Zone	Durée d'util. [h/a]	Surface par per [m^2/P]	Proport. fumeurs [–]	Charges internes [W/m^2]	Fréqu. d'utilis. [–]	Valeur limite	Valeur cible	Valeur d'objet réelle
Vente	3600	5	0	30		60	25	113
Boucherie	3600	100 *)	0	40		690	300	1498
Locaux frigorifiques	3600							
Entrepôt	3600							
Autres	3600							

*) Débit spécifique d'air neuf [m^3/hm^2]

Tableau 6–11: Comparaison de la demande spécifique d'électricité pour la ventilation ou la climatisation (valeurs d'objets réelles [MJ/m^{2}a]) calculée à partir de la saisie des consommations avec les valeurs-limites et valeurs-cibles selon recommandation SIA 380/4, dans le cas des conditions d'utilisation existantes

Les valeurs de consommation déterminées pour le magasin (valeurs d'objets) dépassent considérablement les valeurs-limites. Pour le magasin considéré, il existait un potentiel important d'optimisation d'une part en matière d'efficacité des installations, et d'autre part en ce qui concerne les conditions d'utilisation.

Bilan électrique en MWh/a — **Formulaire 1**

Prestation / Zone	SP m²	SRE m²	Equip. d'exploitation: Equipement postes travail	Equip. d'exploitation: Services centraux	Installations des bâtiments: Eclairage	Installations des bâtiments: Ventilation ou climatisation	Installations des bâtiments: Diverses techniques	Chaleur d'origine électrique	Total
Vente	600	600	7.2	99.2	47.0	18.9			172.3
Boucherie	50	50	10.8	17.9	4.9	20.8			54.4
Chambres frigorifiques	50	50		12.4	2.1				14.5
Entrepôt	300	300			8.1				8.1
Autres	200	200	4.0		2.4				6.4
Bâtiment							2.4		2.4
Total	1'200	1'200	22.0	129.5	64.5	39.7	2.4		258.1

Demande spécifique d'électricité en MJ/m²a — **Formulaire 2**

Prestation / Zone	SP m²	SRE m²	Equip. d'exploitation: Equipement postes travail	Equip. d'exploitation: Services centraux	Installations des bâtiments: Eclairage	Installations des bâtiments: Ventilation ou climatisation	Installations des bâtiments: Diverses techniques	Chaleur d'origine électrique	Total
Vente			43	595	**282**	**113**			
Boucherie			778	1'289	**353**	**1'498**			
Chambres frigorifiques				893	**151**				
Entrepôt					**97**				
Autres			72		**43**				

Indices de dépense d'énergie en MJ/m²a — **Formulaire 3**

Prestation	SRE m²	Equip. d'exploitation: Equipement postes travail	Equip. d'exploitation: Services centraux	Installations des bâtiments: Eclairage	Installations des bâtiments: Ventilation ou climatisation	Installations des bâtiments: Diverses techniques	Chaleur d'origine électrique	Total: Indice de dépense d'énergie électrique
Indices partiels de dépense d'énergie	1'200	66	389	194	119	7		774
Somme des indices partiels pour l'éclairage et la ventilation ou la climatisation								

SP: surface de plancher / SRE: surface de référence énergétique / 1 MWh = 3600 MJ

Tableau 6–12: Représentation normalisée de la demande d'électricité à l'état réel (phase des études préalables)

6.3 Avant-projet

6.3.1 Variantes

Trois variantes sous forme de paquets de mesures ont été étudiées dans le cadre de l'avant-projet:

Variante 1: Les prescriptions des autorités sont satisfaites, et les installations qui ont atteint leur durée de vie sont remplacées. Les interventions se limitent aux locaux techniques et à l'ameublement des magasins, si bien que la rénovation peut être effectuée en peu de temps.

Variante 2: En supplément de la variante 1, le plafond du magasin est remplacé, ce qui rend possible un renouvellement de l'éclairage et des diffuseurs d'air (paquet de mesures: tableau 6–14).

Variante 3: En supplément de la variante 2, l'enveloppe du bâtiment est également assainie dans son ensemble. Dans ce cadre, des mesures en vue d'une utilisation de la lumière naturelle sont prévues. Cette variante correspond pratiquement aux standards valables en cas de construction neuve.

6.3.2 Représentation normalisée de la demande d'électricité (avant-projet)

La figure 6–17 montre la représentation normalisée de la demande d'électricité pour la variante d'assainissement 2.

La demande d'électricité a été déterminée sur la base du catalogue de mesures détaillées et de la liste des consommateurs.

Le tableau 6–13 montre une comparaison des indices partiels de dépense d'énergie pour les trois variantes d'assainissement avec le cas du «magasin 1» (niveau valeurs-limites) de l'annexe A3 4 de la recommandation SIA 380/4.

Indice de dépense d'énergie [MJ/m^{2}a]	**Equipem. postes de travail**	**Services centraux**	**Eclairage**	**Ventilation ou climatis.**	**Diverses techniques**	**Electricité totale**
Valeur d'objet réelle (études préalables)	66	389	194	119	7	774
Variante 1	**66**	**340**	**180**	**70**	**7**	**663**
Variante 2	**66**	**182**	**102**	**33**	**7**	**390**
Variante 3	**66**	**182**	**30**	**33**	**7**	**318**
«Magasin 1», SIA 380/4	20	560	100	40	20	740

Tableau 6–13: Indices partiels de dépense d'énergie du magasin alimentaire dans l'état réel et pour les trois variantes d'assainissement étudiées en comparaison avec l'exemple «magasin 1: alimentation» de la recommandation SIA 380/4

Mesure	**Durée d'utilisation** [a]	**Investissement** [Fr]	**Economie d'électricité** [MWh/a]	**Economie de chaleur** [MWh/a]
Froid commercial				
Arrêt nocturne du corpus de la boucherie	15	200	3	0
Paquet d'économies pour les vitrines	10	4'300	26	0
Dégivrage par air de roulement	15	0	5	0
Pas de chauffage des cadres en cas de réfrigération positive	15	0	3	0
Décalage de la température d'évaporation	15	2'000	3	0
Soupapes d'expansion électroniques	10	11'000	7	0
Nouvelles portes du local frigorifique	15	2'000	2	0
Régulation du chauffage dans le local de congélation	10	1'000	4	0
Isolation supplémentaire de l'armoire de congélation	10	1'500	4	0
Régulation continue du chauffage de l'armoire de congélation	10	1'500	8	0
Capteur de présence pour l'éclairage	10	600	1	0
Récupération de chaleur pour le préchauffage d'eau	15	11'000	0	25
Eclairage				
Nouveaux luminaires pour le magasin	15	3'400	20	-8
Réduire l'éclairage des vitrines réfrigérées	15	0	3	0
Capteur de présence dans l'entrepôt	10	2'350	6	-3
Chauffage/ventilation/climatisation				
Nouvelle installation de climatisation dans le magasin	15	52'000	4	42
Nouvelle installation de climatisation pour la boucherie	15	10'000	9	0
Nouvelle installation frigorifique	10	15'000	13	0
Installation de chauffage	15	3'000	1	0
Total		**120'850**	**122**	**56**

Tableau 6–14: Catalogue de mesures de la variante d'assainissement 2

6.3.3 Comparaison avec les exigences

Les tableaux 6–15 et 6–16 montrent les résultats d'une comparaison avec les exigences selon recommandation SIA 380/4. Les conditions d'utilisation y sont adaptées pour la variante d'assainissement 2: réduction de l'éclairement dans la zone de vente à 400 lux, fréquence «élevée» d'utilisation des zones «entrepôt» et «autres», réduction des débits spécifiques d'air neuf pour la boucherie compte tenu des exigences légales.

Zone	**Durée d'util. [h/a]**	**Eclaire-ment [lx]**	**Eclair. déco. [W/m^2]**	**Utilis. lumière natur. [–]**	**Fréque. d'utilis. [–]**	**Valeur limite**	**Valeur cible**	**Valeur d'objet var. 2**
Vente	3'600	**400**	**3**	sans		180	120	168
Boucherie	3'600	**400**	**3**	sans		180	120	216
Locaux frigorifiques	3'600	50		sans	élevée	14	8	140
Entrepôts	3'600	100		sans	**élevée**	19	11	24
Autres	3'600	250		sans	**élevée**	36	21	36

Tableau 6–15: Valeurs-limites et valeurs-cibles pour l'éclairage selon recommandation SIA 380/4 pour les conditions d'exploitation existantes comparées à la demande spécifique d'électricité de la variante 2 (valeur d'objet variante 2)

Zone	**Durée d'util. [h/a]**	**Surface par pers [m^2/P]**	**Proport. fumeurs [–]**	**Charges internes [W/m^2]**	**Fréqu. d'utilis. [–]**	**Valeur limite**	**Valeur cible**	**Valeur d'objet var. 2**
Vente	3'600	5	0	30		60	25	42
Boucherie	3'600	64 *)	0	40		460	200	288
Locaux frigorifiques	3'600							
Entrepôt	3'600							
Autres	3'600							

*) Débit spécifique d'air neuf [m^3/hm^2]

Tableau 6–16: Valeurs-limites et valeurs-cibles pour la ventilation ou climatisation selon recommandation SIA 380/4 pour les conditions d'exploitation existantes comparées à la demande spécifique d'électricité de la variante 2 (valeur d'objet variante 2)

L'application du paquet de mesures de la variante 2 ne permet d'atteindre que partiellement les valeurs-limites de la demande spécifique d'électricité «éclairage» dans les différentes zones. Globalement, la valeur-limite est pourtant juste atteinte pour l'ensemble des zones, ainsi que le montre la comparaison entre la demande d'électricité calculée à partir des valeurs-limites (36 MWh/a) (voir tableau 6–15) et le bilan électrique (34 MWh/a, tableau 6–17).

Les valeurs-limites pour la demande spécifique d'électricité «ventilation et climatisation» sont par contre respectées en appliquant le paquet de mesures de la variante 2.

Les valeurs-limites ne pourraient par contre pas être respectées pour la variante d'assainissement 1, par le fait que cette variante ne contient par exemple aucune mesure d'assainissement de l'éclairage.

Bilan électrique en MWh/a — **Formulaire 1**

Prestation / Zone	SP m²	SRE m²	Equip. d'exploitation: Equipement postes travail	Equip. d'exploitation: Services centraux	Installations des bâtiments: Eclairage	Installations des bâtiments: Ventilation ou climatisation	Installations des bâtiments: Diverses techniques	Chaleur d'origine électrique	Total
Vente	600	600	7	47	28	7			86
Boucherie	50	50	11	8	3	4			26
Chambres frigorifiques	50	50		6	2				8
Entrepôt	300	300			2				2
Autres	200	200	4		2				6
Bâtiment							2		2
Total	1'200	1'200	22	61	34	11	2		130

Demande spécifique d'électricité en MJ/m²a — **Formulaire 2**

Prestation / Zone	SP m²	SRE m²	Equip. d'exploitation: Equipement postes travail	Equip. d'exploitation: Services centraux	Installations des bâtiments: Eclairage	Installations des bâtiments: Ventilation ou climatisation	Installations des bâtiments: Diverses techniques	Chaleur d'origine électrique	Total
Vente	600		42	281	**168**	**42**			
Boucherie	50		791	576	**216**	**288**			
Chambres frigorifiques	50			430	**140**				
Entrepôt	300				**24**				
Autres	200		72		**36**				

Indices de dépense d'énergie en MJ/m²a — **Formulaire 3**

Prestation	SRE m²	Equip. d'exploitation: Equipement postes travail	Equip. d'exploitation: Services centraux	Installations des bâtiments: Eclairage	Installations des bâtiments: Ventilation ou climatisation	Installations des bâtiments: Diverses techniques	Chaleur d'origine électrique	Total: Indice de dépense d'énergie électrique
Indices partiels de dépense d'énergie	1'200	66	188	102	33	7		390
Somme des indices partiels pour l'éclairage et la ventilation ou la climatisation								

SP: surface de plancher / SRE: surface de référence énergétique / 1 MWh = 3600 MJ

Tableau 6–17: Représentation normalisée de la demande d'électricité pour la variante d'assainissement 2 (étape d'avant-projet)

6.4 Projet et exécution

6.4.1 Mesures prises

Le maître de l'ouvrage a finalement décidé de ne réaliser que le paquet de mesures de la variante 1 (tableau 6–18), car une reconstruction de la filiale était prévue à moyen terme. De plus, les dépenses provoquées par cette variante avaient déjà été budgetées, et le planning tenant compte d'une interruption d'exploitation de deux semaines au plus était déjà arrêté.

Mesure	**Durée d'utilisation** [a]	**Investissement** [Fr]	**Economie d'électricité** [MWh/a]	**Economie de chaleur** [MWh/a]
Froid commercial				
Paquet d'économies pour les vitrines	10	4'300	26	0
Décalage de la température d'évaporation	15	2'000	3	0
Soupape d'expansion électronique	10	11'000	7	0
Récupération de chaleur des installations de froid positif	15	12'500	-22	58
Récupération de chaleur des installations de froid négatif	15	12'500	-3	2
Nouvelles portes aux chambres frigorifiques	15	5'000	2	0
Eclairage				
Eclairage de l'entrepôt	10	2'500	3	-1
Ventilation ou climatisation				
Nouv. armoire climatisée pour le magasin	15	0	7	42
Nouvelle armoire climatisée pour la boucherie	15	0	9	0
Total		**49'800**	**32**	**101**

Tableau 6–18: Mesures exécutées de la variante d'assainissement 1

6.4.2 Représentation normalisée de la demande d'électricité

Le tableau 6–19 montre la représentation normalisée de la demande d'électricité après réalisation de la variante d'assainissement 1. Une demande supplémentaire d'électricité. résulte de la récupération de chaleur des installations de froid commercial. Mais en même temps, la demande de chaleur pour la production d'eau chaude sanitaire (SIA 380/1) est réduite.

Le potentiel d'économies pour l'armoire climatisée de la boucherie est moins élevé que dans l'avant-projet, car on n'a pas renoncé à une installation d'humidification (pour éviter le dessèchement de la viande).

6.4.3 Comparaison avec les exigences

Les valeurs-limites de la recommandation SIA 380/4 ne peuvent pas être tenues avec cet assainissement minimal.

6.4.4 Vérification des performances

Une campagne supplémentaire de mesures a été réalisée après achèvement de la rénovation du magasin alimentaire dans un but de vérification des performances. Les valeurs mesurées résultantes correspondaient assez exactement au bilan électrique calculé.

Bilan électrique en MWh/a — **Formulaire 1**

Prestation / Zone	SP m²	SRE m²	Equip. d'exploitation: Equipement postes travail	Equip. d'exploitation: Services centraux	Installations des bâtiments: Eclairage	Installations des bâtiments: Ventilation ou climatisation	Installations des bâtiments: Diverses techniques	Chaleur d'origine électrique	Total
Vente	600	600	7	91	47	11			156
Boucherie	50	50	11	15	5	12			43
Chambres frigorifiques	50	50		10	2				12
Entrepôt	300	300			5				5
Autres	200	200	4		2				6
Bâtiment							2		2
Total	1'200	1'200	22	116	61	23	2		224

Demande spécifique d'électricité en MJ/m²a — **Formulaire 2**

Prestation / Zone	SP m²	SRE m²	Equip. d'exploitation: Equipement postes travail	Equip. d'exploitation: Services centraux	Installations des bâtiments: Eclairage	Installations des bâtiments: Ventilation ou climatisation	Installations des bâtiments: Diverses techniques	Chaleur d'origine électrique	Total
Vente	600		42	546	**282**	**66**			
Boucherie	50		791	1'080	**360**	**864**			
Chambres frigorifiques	50			720	**144**				
Entrepôt	300				**60**				
Autres	200		72		**36**				

Indices de dépense d'énergie en MJ/m²a — **Formulaire 3**

Prestation	SRE m²	Equip. d'exploitation: Equipement postes travail	Equip. d'exploitation: Services centraux	Installations des bâtiments: Eclairage	Installations des bâtiments: Ventilation ou climatisation	Installations des bâtiments: Diverses techniques	Chaleur d'origine électrique	Total: Indice de dépense d'énergie électrique
Indices partiels de dépense d'énergie	1'200	66	348	183	69	6		672
Somme des indices partiels pour l'éclairage et la ventilation ou la climatisation								

SP: surface de plancher / SRE: surface de référence énergétique / 1 MWh = 3600 MJ

Tableau 6–19: Représentation normalisée de la demande d'électricité, état après réalisation des mesures, résultats selon vérification des performances

6.5 Utilité de l'application de la recommandation SIA 380/4

Grâce à l'application de la recommandation SIA 380/4 comme outil de planification dans l'exemple «rénovation» considéré, les résultats suivants ont été atteints:

- La demande d'électricité a baissé de 10 %, malgré le fait que le volume des vitrines réfrigérées a augmenté de 10 % et qu'une demande supplémentaire d'électricité nécessaire pour assurer la récupération de chaleur de la réfrigération commerciale soit apparue. La demande de chaleur a pu être réduite de 23 %. De grandes économies ont été également réalisées dans la consommation d'eau potable.
- Les coûts d'investissement pour les mesures d'assainissement dans le domaine de l'énergie atteignent env. 50'000.- Fr., à propos de quoi il faut se rappeler qu'une rénovation était de toute façon planifiée et mise au budget. Toutes les mesures réalisées s'amortissent sur la durée de vie technique, ce qui signifie qu'elles présentent un rapport coût/bénéfice inférieur ou égal à 1. Naturellement, des économies financières résultent également des économies d'énergie réalisées en exploitation.

Annexes

A1 Liste de contrôle pour la direction des travaux, resp. pour l'architecte

A2 Caractéristiques d'installations et facteurs d'exploitation pour un calcul simplifié selon paragraphe 4.3

A3 Méthode complète de calcul simplifié pour le cas “construction neuve”

A4 Références

A1 Aide-mémoire concernant l'application de la recommandation SIA 380/4 destinée à la direction des travaux, resp. à l'architecte

1. Etudes préalables	
1.1 Objectifs	Un cahier de charges "énergie" est établi, avec comme éléments principaux des objectifs vérifiables en ce qui concerne l'énergie et la rentabilité. Il contient: • des données concernant l'objet, • des indications sur les zones, les heures et conditions d'utilisation, • des indications sur les équipements d'exploitation prévus et les exigences d'exploitation, • des objectifs concernant la consommation d'énergie, l'impact sur l'environnement et la rentabilité, • des données sur les critères d'optimisation.
1.2 Organisation	• Fixer une organisation de projet, • choisir des ingénieurs spécialisés, • désigner un préposé à l'énergie, • fixer les responsabilités en ce qui concerne la vérification des performances et l'exploitation optimale.
1.3 Demande d'électricité	• Déterminer la demande d'électricité en représentation normalisée (phase des études préalables).
2. Avant-projet	
2.1 Vérifier les équipements d'exploitation	Vérifier les équipements d'exploitation avec le maître de l'ouvrage: • fixer des hypothèses réalistes en ce qui concerne la puissance et la durée d'exploitation, • concentrer les appareils entraînant des exigences particulières dans des zones spéciales, éventuellement climatisées, • détermination des charges thermiques internes par zone.
2.2 Créer les conditions favorables pour la construction	Créer les conditions favorables pour l'utilisation rationnelle de l'énergie dans les installations: • Indiquer la proportion des postes de travail situés dans la zone de lumière naturelle. • Etablir la liste des mesures visant à utiliser la lumière naturelle (grandeur et hauteur des fenêtres, profondeur du local, clarté). • Etablir une liste des mesures visant à la réduction des températures estivales dans les locaux (pare-soleil, masse thermique active, arrangement et profondeur des locaux, disposition des équipements d'exploitation. • Délimiter les zones à aération naturelle, à ventilation mécanique (surfaces ventilées), à climatisation (surfaces climatisées). • Choisir des tracés de gaines à pertes de charges minimales.

2.3 Choix de système des installations	• Effectuer le choix de système pour l'éclairage. • Effectuer le choix de système pour la ventilation ou la climatisation (évacuation de la chaleur par un système à eau ou à air).
2.4 Demande d'électricité	• Effectuer une optimisation des systèmes. • Déterminer la demande d'électricité, en phase d'avant-projet, en représentation normalisée. • Définir les objectifs du principe de mesure.
3. Projet	
3.1 Optimisation de l'éclairage	• Choix du système de contrôle-commande
3.2 Optimisation du transport de l'air	• Calculer le débit d'air, les pertes de charge, les rendements de moteurs et de ventilateurs, les régulations adaptées aux besoins.
3.3 Optimisation de la réfrigération	• Optimiser les températures de départ et de retour, le cheminement des conduites et le mode de fonctionnement de la distribution de froid. • Optimiser la machine frigorifique avec son mode de fonctionnement, p.ex. le fonctionnement de l'accumulateur et le free-cooling.
3.4 Demande d'électricité	• Déterminer la demande d'électricité en représentation normalisée, en phase de projet. • Etablir un concept de mesure, fixer les valeurs de contrôle et les vérifier sur la base du bilan électrique.
4. Projet d'exécution et exécution	
4.1 Mise en soumission et adjudication	• Fixer les valeurs de garantie en matière d'énergie dans la mise en soumission. • Dans la proposition d'adjudication, prendre en considération les dépenses futures pour l'énergie.
4.2 Projet d'exécution	• Etablir la liste des mesures visant à adapter la demande. • Etablir la liste des mesures en cas de changement d'affectation. • Etablir la liste des mesures contre les éventuelles erreurs d'exploitation. • Etablir la liste des mesures pour l'exploitation optimale. • Etablir un concept d'exploitation optimale avec ses objectifs (quantifier) et le traitement des données (tableaux, diagramme récapitulatif, dépouillement de détail).
4.3 Demande d'électricité	• Déterminer éventuellement la demande d'électricité en représentation normalisée, en phase d'exécution.
5. Exploitation optimale et vérification des performances	
5.1 Exploitation optimale	• Comparer le comportement en exploitation avec les objectifs du concept d'exploitationn optimale, et identifier les potentiels d'optimisation.
5.2 Vérification des performances	• Déterminer la demande d'électricité en représentation normalisée, en phase de vérification des performances. • Apporter la preuve que les objectifs du projet ont été tenus, resp. justifier les écarts.

A2 Caractéristiques d'installations et facteurs d'exploitation pour un calcul simplifié selon paragraphe 4.3

Les caractéristiques sur lesquelles est basé le calcul simplifié ont été déduites d'une campagne de mesures (voir annexe A4.2 et littérature [4], [9], [12] à l'annexe A4.3) ainsi qu'à partir d'autres résultats de recherche ([3], [5], annexe A4.3) et de bases de planification ([6], [7], [10], [11]).

A2.1 Equipements des postes de travail

Type	Appareil	Puissance en standby P_{sPT} [W]
Appareils standards	PC (sans écran)	50
	Ecran	50
	Imprimante (8 pages/minute)	100
	Photocopieur (20 pages/minute)	150
Appareils économes	PC (sans écran)	30
	Ecran	30
	Imprimante (8 pages/minute)	25
	Photocopieur (20 pages/minute)	90

Tableau A2–1: Puissance en standby (p_{sPT}) de l'équipement des postes de travail

Type	Appareil	Facteur de puissance effective k_{pPT} [–]
Appareils standards	PC (sans écran)	1
	Ecran	1
	Imprimante (8 pages/minute)	2
	Photocopieur (20 pages/minute)	2
Appareils économes	PC (sans écran)	1.5
	Ecran	1.5
	Imprimante (8 pages/minute)	3
	Photocopieur (20 pages/minute)	3

Tableau A2–2: Facteur de puissance effective (k_{pPT}) de l'équipement des postes de travail

Technicité	Appareil	Densité d'appareils r_{AP} [appar./P]
Technicité normale	PC (sans écran)	0.8
	Ecran	0.8
	Imprimante	0.2
	Photocopieur	0.1
Technicité élevée	PC (sans écran)	1.5
	Ecran	1.5
	Imprimante	0.5
	Photocopieur	0.3

Tableau A2–3: Densité d'appareils r_{AP} (appareils par poste de travail)

Occupation par les personnes	Surface par personne S/P [m^2/P]
très dense	5
dense	10
moyenne	15
faible	20

Tableau A2–4: Surface par personne S/P (m^2 de surface de bureau par personne)

Genre d'utilisation	Facteur de durée de fonctionnement f_{cPT} [–]
Utilisation administrative	0.5
Utilisation technique	0.3

Tableau A2–5: Facteur de durée de fonctionnement f_{cPT} de l'équipement des postes de travail

Type d'appareil	Facteur d'adaptation aux besoins f_{ePT} [–]
Appareils standard	1
Appareils économe	0.5

Tableau A2–6: Facteur d'adaptation aux besoins (f_{ePT}) de l'équipement des postes de travail

A2.2 Eclairage

Zone	Genre d'utilisation	Eclairement nominal E_m [lx]	Puissance installée p_E [W/m^2]
Surfaces de bureaux	Petit bureau clair	300	6 à 10
	Salle de réunion	300	6 à 10
	Grands bureaux	500	10 à 15
Surface de vente	Simple	300	6 à 10
	Comfort	500	10 à 15
Local d'enseignement	Normal	300	6 à 10
	Special	500	10 à 15
Chambre d'hôpital		200	5 à 8
Restaurant	Salle à manger	200	5 à 8
	Cuisine	500	10 à 15
Surfaces de circulation	Corridors etc.	100	3 à 5
Entrepôt	Marchandise grossière	100	3 à 5
	Marchandise fine	200	5 à 8
Parking		20	1 à 2

Tableau A2–7: Eclairement nominaux E_m pour des utilisations typiques

Type de lampe	Puissance des lampes [W]	Efficacité lumineuse η_l [lm/W]	
		avec ballast électronique	avec ballast à faibles pertes
Lampe fluorescente	18	70	60
triphosphore	36	90	75
	58	85	70
Lampe fluorescente	18	60	45
standard	36	75	65
	58	75	65
Lampe fluorescente	11	55	43
compacte	15	60	52
	23	65	56
Lampes halogènes	100	-	15
à la tension du réseau	500	-	19
	1500	-	22

Tableau A2–8: Efficacité lumineuse η_l de lampes fluorescentes équipées d'un ballast électronique ou à faibles pertes

Type de local	Type de luminaire	Rendement d'éclairage η_E [–]	
		Local clair	Local sombre
Grand local (200 m^2)	Cuve opale	0.5	0.4
	Réflecteur direct	0.7	0.55
	Direct/indirect	0.7	0.45
Petit local (30 m^2)	Cuve opale	0.35	0.25
	Réflecteur direct	0.5	0.4
	Direct/indirect	0.5	0.3

Tableau A2–9: Rendement d'éclairage η_E

Situation du local	Rapport de surface fenêtre/sol [-]	Facteur de lumière du jour D_m [%]	Autonomie d'éclairage naturel AEN [-]	
			300 lx	500 lx
Locaux très clairs	0.3 - 0.5	6.0	0.9	0.85
Locaux clairs	0.15 - 0.3	3.0	0.8	0.75
Locaux moyennement clairs	ca. 0.1	1.0	0.6	0.4
Lumière naturelle seulement dans les zones proches des fenêtres	< 0.1	0.5	0.3	0.15
Aucune lumière naturelle	0.0	0.0	0.0	0.0

Tableau A2–10: Autonomie d'éclairage naturel AEN

Qualité d'utilisation	Coefficient d'utilisation de la lumière naturelle ULN [–]
mauvaise	0.10
moyenne	0.40
bonne	0.80
continue	0.95

Tableau A2–11: Coefficient d'utilisation de la lumière naturelle ULN

Zone	Description	Adaptation aux besoins f_{eEG} [–]
Bureaux	Bureau de groupe (plus de 4 postes de travail)	1.0
	Bureau individuel (secrétariat 100% dans le bureau)	0.65
	Bureau individuel (traitement des dossiers à 70% au bureau)	0.45
Surfaces de vente	Installations non régulées	1.0
	Réduction en-dehors des heures de vente	0.9
Surfaces de circulation	Avec suffisament de lumière naturelle	0.3
	Avec peu de lumière naturelle	0.6
	Sans lumière naturelle	1.0

Tableau A2–12: Adaptation aux besoins f_{eEG} pour l'éclairage

A2.3 Transport de l'air

Zone	Débit spécifique d'air soufflé v_{AS} [$m^3/h \cdot m^2$]
Bureau (fumée autorisée)	4
Bureau	3
Vente	6
Locaux d'enseignement	6
Chambre d'hôpital	1

Tableau A2–13: Débit spécifique d'air soufflé v_{AS}

Type d'installation	Perte de charge de l'air soufflé et de l'air extrait Δp [Pa]
Petites installations	< 300
Moyennes installations	300-900
Grandes installations	900-1400
Installations spéciales	> 1400

Tableau A2–14: Perte de charge pour l'air soufflé et l'air extrait Δp

Type d'équipements auxiliaires	Facteur d'équipements auxiliaires k_{hTA} [-]
Echangeur de chaleur rotatif	1.05
Système de récupération de chaleur à liaison par circuit	1.05
Laveur	1.10
Humidificateur à ultra-sons	1.05

Tableau A2–15: Facteur d'équipements auxiliaires k_{hTA} pour le transport de l'air

Débit d'air soufflé	Rendement global η_{tot} [–]
> 15'000 m^3/h	0.70
jusqu'à 15'000 m^3/h	0.65
jusqu'à 10'000 m^3/h	0.60
jusqu'à 5000 m^3/h	0.55
< 1000 m^3/h	0.45

Tableau A2–16: Rendement global η_{tot} de ventilateur

Genre de contrôle-commande	Facteur d'adaptation aux besoins f_{eTA} [–]
Installation à une allure à horloge	1.0
Installation à deux allures avec commande de la vitesse en fonction des besoins	0.8
Installation à débit variable (enclenchement/déclenchement par zone)	0.6
Installation à débit variable (régulation selon besoin par zone)	0.4

Tableau A2–17: Facteur d'adaptation aux besoins f_{eTA} pour le transport de l'air

A2.4 Réfrigération de l'air

Température d'air soufflé	Différence d'enthalpie Δh [kJ/kg]		
	Zurich	Genève	Locarno
14 °C	20	21	27
16 °C	16	17	23
18 °C	12	13	19.5
20 °C	9	10	16.5
22 °C	7	8	14
24 °C	5	6	12

Tableau A2–18: Différence d'enthalpie Δh

Description	Facteur de pertes de distribution k_{vRA} [–]
Consommateur de froid à l'intérieur des surfaces techniques (centrale de ventilation conjointe avec centrale de froid)	1.05
Consommateur de froid à l'extérieur des surfaces techniques (centrale de ventilation disposée de manière décentrée)	1.15

Tableau A2–19: Facteur de perte de distribution k_{vRA} pour la réfrigération de l'air

Genre d'auxiliaires	Facteur d'équipements auxiliaires k_{hRA} [–]
Pompes de circulation des circuits d'eau glacée et de refroidisement, et du condenseur évaporatif	1.25

Tableau A2–20: Facteur d'équipements auxiliaires k_{hRA} pour la réfrigération de l'air

Température du système	Coefficent de performance de l'installation frigorifique η_K [–]	
	Compresseur à pistons	Compresseur à vis
6/12 °C	3	3.5
13/18 °C	4	4.5
19/25 °C	5	6

Tableau A2–21: Coefficent de performance de l'installation frigorifique η_K

Genres de systèmes	Facteur de durée de fonctionnement f_{cRA} [–]
Installation de ventilation/climatisation avec réfrigération estivale (charges thermiques spécifiques actives = 20 W/m^2)	0.15
Installation de ventilation/climatisation avec réfrigération de l'air (charges thermiques spécifiques actives = 30 W/m^2)	0.3
Installation de ventilation/climatisation avec réfrigération de l'air (charges thermiques spécifiques actives = 40 W/m^2)	0.4
Installation de ventilation/climatisation avec air de roulement au centre de calcul (charges thermiques spécifiques actives > 40 W/m^2)	0.6

Tableau A2–22: Facteur de durée de fonctionnement f_{cRA} pour la réfrigération de l'air

Installation de ventilation/climatisation	Facteur d'adapta-tion aux besoins f_{eRA} [–]
Installation à une allure avec température de soufflage constante	0.9
Installation à une allure avec température de soufflage glissante	0.6
Régulation du débit en fonction de la demande avec température de soufflage constante	0.7
Régulation du débit en fonction de la demande avec température de soufflage glissante	0.5

Tableau A2–23: Facteur d'adaptation aux besoins f_{eRA} pour la réfrigération de l'air

A2.5 Réfrigération de l'eau

Genres de systèmes	Facteur de durée de fonctionnement f_{cRE} [–]
Installation de ventilation/climatisation avec plafond froid (charges thermiques spécifiques actives = 30 W/m^2)	0.4
Installation de ventilation/climatisation avec plafond froid (charges thermiques spécifiques actives = 40 W/m^2)	0.5
Installation de ventilation/climatisation avec air de roulement au centre de calcul (charges thermiques spécifiques actives > 40 W/m^2)	0.6

Tableau A2–24: Facteur de durée de fonctionnement f_{cRE} pour la réfrigération de l'eau

Stratégie de réglage	Facteur d'adaptation aux besoins f_{eRE} [–]
Système de réfrigération de l'eau sans glissement de la température de départ	0.9
Système de réfrigération de l'eau avec glissement de la température de départ	0.7

Tableau A2–25: Facteur d'adaptation aux besoins f_{eRE} pour la réfrigération de l'eau

A3 Méthode complète de calcul simplifié pour le cas “construction neuve”

Présentation complète de la méthode simplifiée de calcul de la demande d'électricité pour l'exemple d'application “construction neuve” du chapitre 5.

Données relatives au bâtiment	
Zones	ZN

Calcul de la demande d'électricité	
Equipement des postes de travail	PT
Services centraux	SC
Eclairage général	EG
Eclairage supplémentaire	ES
Charges thermiques internes	CT
Transport de l'air	TA
Réfrigération de l'air	RA
Réfrigération de l'eau	RE
Diverses techniques	DT

ZN Zones Données du bâtiment

	Groupes de locaux	Surface de plancher SP m²	Surface de référence énergétique SRE m²	Zone	Heures d'utilisation h_U h/a	Surface par personne S/P m²/P
1	Bureau	18'671	18'671	bureau	2'750	10.0
2	surface de circulation des étages	8'697	8'697	circulation	2'750	
3	salles de conférences	258	258	local d'enseignement	2'000	3.0
4	restaurant	842	842	restaurant	*2'750*	1.2
5	cuisine	476	476		*1'500*	
6	entrepôt de restaurant	133		entrepôt	2'750	
7	surface de circulation des étages souterrains	1'862		circulation	2'750	
8	WC/locaux de nettoyage	880	880	circulation	2'750	
9	locaux techniques	1'590		entrepôt	2'750	
10	entrepôt	4'450		entrepôt	2'750	
11	locaux informatiques	469	469	bureau	*8'760*	
12	garage	6'579		box privé	2'750	
13						
14						
15						
16						
17						
18						
19						
20						
Total/bâtiment		44'907	30'293			

PT Equipements auxiliaires: équipement des postes de travail

Calcul

	Groupes de locaux	Puissance par personne P_{pPT} W/p	Surface par personne S/P m^2/p	Puissance spécifique p_{PT} W/m^2	Facteurs d'exploitation: Durée de fonctionnement f_{cPT} –	Facteurs d'exploitation: Adaptation à la demande f_{ePT} –	Heures à pleine charge h_{PT} h/a	Demande spécifique d'électricité E_{PT} MJ/m^2a	Demande d'électricité Q_{PT} MWh/a
1	Bureau	170	10.0	17.0	0.50	0.50	688	38	196.4
2	surface de circulation des étages			*5.0*	1.00	0.50	1'375	22	53.8
3	salles de conférences	50	3.0	16.7	1.00	0.20	400	22	1.5
4	restaurant		1.2	0.0	1.00	0.50	1'375	0	0.0
5	cuisine								
6	entrepôt de restaurant								
7	surface de circulation des étages souterrains								
8	WC/locaux de nettoyage								
9	locaux techniques								
10	entrepôt								
11	locaux informatiques								
12	garage								
13									
14									
15									
16									
17									
18									
19									
20									

SC Equipements auxiliaires: services centraux — Calcul

	Groupes de locaux		Puissance spécifique	Facteurs d'exploitation: Durée de fonctionnement	Facteurs d'exploitation: Adaptation à la demande	Heures à pleine charge	Demande spécifique d'électricité	Demande d'électricité	Nombre d'unités		Demande d'électricité par unité		Facteur de conversion en kWh/a
			p_{SC}	f_{cSC}	f_{eSC}	h_{SC}	E_{SC}	Q_{SC}	n_{SC}	Unité de quantité	e_{SC}	Unité de quantité	f_{SC}
			W/m²	–	–	h/a	MJ/m²a	MWh/a					
1	Bureau												
2	surface de circulation des étages												
3	salles de conférences												
4	restaurant												
5	cuisine						1'891	250.0	125'000	repas/a	2.0	kWh/repas	1.0
6	entrepôt de restaurant												
7	surface de circulation des étages souterrains												
8	WC/locaux de nettoyage												
9	locaux techniques												
10	entrepôt												
11	locaux informatiques		45.0	1.00	1.00	8'760	1'277	166.4					
12	garage												
13													
14													
15													
16													
17													
18													
19													
20													

EG Eclairage général

Calcul

	Groupes de locaux	Lumière naturelle				Lumière artificielle					Heures à pleine charge	Demande spécifique d'électricité	Demande d'électricité
		Eclairement	Quotient	Autonomie d'éclairage naturel	Utilisation lum. natur.	Efficacité lumineuse	Rendement d'éclairage	Puissance spécifique	Puissance spécifique	Adaptation à la demande			
		E_m lx	D_m %	AEN %	ULN –	η_l (etal) lm/W	η_E (etaE) –	W/100lx m^2	p_{EG} W/m^2	f_{eEG} –	h_{EG} h/a	E_{EG} MJ/m^2a	Q_{EG} MWh/a
1	Bureau	350	3.0%	0.80	0.60	75	0.65	2.93	10.3	0.60	858	29	147.9
2	surface de circulation des étages	150	2.0%	0.70	0.80	55	0.70	3.71	5.6	1.00	1'210	22	52.7
3	salles de conférences	500	1.0%	0.40	0.60	75	0.70	2.72	13.6	0.70	1'064	47	3.4
4	restaurant	300	3.0%	0.80	0.80	55	0.60	4.33	13.0	1.00	990	42	9.7
5	cuisine	500	0.5%	0.40	0.90	75	0.45	4.23	21.2	1.00	960	66	8.7
6	entrepôt de restaurant	200	0.0%	0.00	0.00	75	0.55	3.46	6.9	0.25	688	15	0.6
7	surface de circulation des étages souterrains	150	0.0%	0.00	0.00	75	0.70	2.72	4.1	0.90	2'475	33	16.9
8	WC/locaux de nettoyage	150	0.0%	0.00	0.00	75	0.70	2.72	4.1	0.50	1'375	18	4.4
9	locaux techniques	100	0.0%	0.00	0.00	75	0.70	2.72	2.7	0.10	275	2	1.1
10	entrepôt	100	0.0%	0.00	0.00	75	0.70	2.72	2.7	0.10	275	2	3.0
11	locaux informatiques	300	0.0%	0.00	0.00	75	0.70	2.72	8.2	0.20	1'788	47	6.2
12	garage	50	0.5%	0.20	0.40	75	0.70	2.72	1.4	0.80	2'024	9	16.3
13													
14													
15													
16													
17													
18													
19													
20													

ES **Eclairage supplémentaire**													Calcul
Groupes de locaux							Accents par 100m^2 –	Puissance par accent (spot) W	Puissance spécifique déco p_{ES} W/m^2	Facteur d'exploitation f_{bES} –	Heures à pleine charge h_{ES} h/a	Demande spécifique d'électricité E_{ES} MJ/m^{2}a	Demande d'électricité Q_{ES} MWh/a
1	Bureau												
2	surface de circulation des étages												
3	salles de conférences												
4	restaurant						2	75	1.5	0.45	1'250	6	1.4
5	cuisine												
6	entrepôt de restaurant												
7	surface de circulation des étages souterrains												
8	WC/locaux de nettoyage												
9	locaux techniques												
10	entrepôt												
11	locaux informatiques												
12	garage												
13													
14													
15													
16													
17													
18													
19													
20													

CT Ventilation et climatisation: charges internes

Calcul

	Groupes de locaux	Personnes			Eclairage			Equipements d'exploitation					
		Densité	Simultanéité	Charge interne	Puissance spécifique	Simultanéité	Charge interne	Puissance spécifique	Simultanéité	Charge interne			Charge active spécifique
		S/P m^2/p	g_p –	p_{CTP} W/m^2	p_E W/m^2	g_E –	p_{CTE} W/m^2	p_{EE} W/m^2	g_{EE} –	p_{CTBR} W/m^2			p_{CT} W/m^2
1	Bureau	10.0	0.55	3.8	10.3	1.00	10.3	17.0	0.50	8.5			22.6
2	surface de circulation des étages												
3	salles de conférences	3.0	1.00	23.3	13.6	1.00	13.6	16.7	0.20	3.3			40.3
4	restaurant												
5	cuisine												
6	entrepôt de restaurant												
7	surface de circulation des étages souterrains												
8	WC/locaux de nettoyage												
9	locaux techniques												
10	entrepôt												
11	locaux informatiques				8.2	1.00	8.2	45.0	1.00	45.0			53.2
12	garage												
13													
14													
15													
16													
17													
18													
19													
20													

TA	**Ventilation et climatisation: transport de l'air**												Calcul
Groupes de locaux		Charge active spécifique	Différence de température	Débit d'air pulsé	Perte de charge	Rendement	Facteur équipem. auxiliaires	Puissance spécifique	Facteurs d'exploitation		Heures à pleine charge	Demande spécifique d'électricité	Demande d'électricité
									Durée de fonctionnement	Adaptation à la demande			
		p_{CT}	ΔT (deltaT)	v_{AS}	ΔP (deltaP)	η_{tot} (etatot)	k_{hTA}	p_{TA}	f_{cTA}	f_{eTA}	h_{TA}	E_{TA}	Q_{TA}
		W/m²	K	m³/hm²	Pa	–	–	W/m²	–	–	h/a	MJ/m²a	MWh/a
1	Bureau												
2	surface de circulation des étages												
3	salles de conférences	40.3	9.0	14.3	900	0.55	1.05	6.8	1.00	0.60	1'200	26	1.9
4	restaurant			*33.0*	900	0.55	1.05	15.8	0.50	0.80	1'100	56	13.1
5	cuisine			*60.0*	1'000	0.55	1.05	31.8	1.00	0.80	1'200	124	16.4
6	entrepôt de restaurant												
7	surface de circulation des étages souterrains												
8	WC/locaux de nettoyage			*12.9*	200	0.30	1.00	2.4	1.00	1.00	2'750	21	5.2
9	locaux techniques												
10	entrepôt			*4.0*	1'200	0.55	1.05	2.5	0.17	1.00	458	4	4.7
11	locaux informatiques												
12	garage			*3.2*	600	0.55	1.00	1.0	1.00	0.80	2'200	7	12.6
13													
14													
15													
16													
17													
18													
19													
20													

RA	**Ventilation et climatisation: réfrigération de l'air**												Calcul
Groupes de locaux		Charge active spécifique	Débit d'air pulsé	Différence d'enthalpie	Coeff. de perf. install. frigorifique	Pertes de distribution	Facteur équipements auxiliaires	Puissance spécifique	Facteurs d'exploitation		Heures à pleine charge	Demande spécifique d'électricité	Demande d'électricité
									Durée de fonctionnement	Adaptation à la demande			
		p_{CTRA}	v_{AS}	Δh (deltah)	η_{kRA} (etakRA)	k_{vRA}	k_{hRA}	p_{RA}	f_{cRA}	f_{eRA}	h_{RA}	E_{RA}	Q_{RA}
		W/m²	m³/hm²	kJ/kg	–	–	–	W/m²	–	–	h/a	MJ/m²a	MWh/a
1	Bureau												
2	surface de circulation des étages												
3	salles de conférences	40.3	14.3	17.0	3.0	1.15	1.25	36.4	0.40	0.70	560	66	4.7
4	restaurant												
5	cuisine												
6	entrepôt de restaurant												
7	surface de circulation des étages souterrains												
8	WC/locaux de nettoyage												
9	locaux techniques												
10	entrepôt												
11	locaux informatiques												
12	garage												
13													
14													
15													
16													
17													
18													
19													
20													

RE **Ventilation et climatisation: réfrigération de l'eau**													Calcul
Groupes de locaux		Charge active spécifique p_{CTRE} W/m²			Pertes de distribution k_{vRE} –	Facteur équipem. auxiliaires k_{hRE} –	Coeff. de perf. install. frigorifique η_{kRE} (etakRE) –	Puissance spécifique p_{RE} W/m²	Facteurs d'exploitation Durée de fonctionne-ment f_{cRE} –	Adaptation à la demande f_{eRE} –	Heures à pleine charge h_{RE} h/a	Demande spécifique d'électricité E_{RE} MJ/m²a	Demande d'électricité Q_{RE} MWh/a
1	Bureau												
2	surface de circulation des étages												
3	salles de conférences												
4	restaurant												
5	cuisine												
6	entrepôt de restaurant												
7	surface de circulation des étages souterrains												
8	WC/locaux de nettoyage												
9	locaux techniques												
10	entrepôt												
11	locaux informatiques	53.2			1.05	1.25	4.0	17.4	0.60	0.70	3'679	208	27.1
12	garage												
13													
14													
15													
16													
17													
18													
19													
20													

DT Diverses techniques — Calcul

Consommateur	Durée d'utilisation	Puissance spécifique	Facteur d'exploitation: Durée de fonctionnement	Facteur d'exploitation: Adaptation à la demande	Heures à pleine charge	Indice partiel de dép. d'éner.	Demande d'électricité	Nombre d'unités		Demande d'électricité par unité		Facteur de conversion en kWh/a
DTa Pompes de circulation	h_{UDTa} h/a	p_{DTa} W/m²	f_{cDTa} –	f_{eDTa} –	h_{DTa} h/a	IPE_{DTa} MJ/m²a	Q_{DTa} MWh/a	Facteur équip. auxiliaires k_{hDT}	Unité de quantité	Demande de chaleur $Q_{ch}+Q_{EC}$	Unité de quantité	
1						4	30.9	0.015	–	245	MJ/m2a	
2									–		MJ/m2a	
Total pompes de circulation						4	30.9					
DTb Ascenseurs	h_{UDTb} h/a	p_{DTb} W/m²	f_{cDTb} –	f_{eDTb} –	h_{DTb} h/a	IPE_{DTb} MJ/m²a	Q_{DTb} MWh/a	Nombre d'ascenseurs n_A		Dem. d'élec. p. ascenseur e_A		
1						12	100.0	20	–	5000	kWh/a	
2									–		kWh/a	
Total ascenseurs						12	100.0					
DTc Autres consommateurs	h_{UDTc} h/a	p_{DTc} W/m²	f_{cDTc} –	f_{eDTc} –	h_{DTc} h/a	IPE_{DTc} MJ/m²a	Q_{DTc} MWh/a	Nombre d'unités n_{DTc}	Unité de quantité	Demande d'élec. par unité e_{DTc}	Unité de quantité	f_{DTc}
1 Communication, etc.	2'750	0.2	1.00	1.00	2'750	2	15.0					
2 Transformateur	8'760	0.1	1.00	1.00	8'760	3	23.9					
3												
4												
5												
Total autres consommateurs						5	38.9					
Total diverses techniques						20	170					

A4 Références

A4.1 Abréviations et unités

A4.2 Campagne de mesures pour la fixation des exigences

A4.3 Bibliographie

A4.1 Abréviations et unités

A4.1.1 Abréviations

Les abréviations entre parenthèses se rapportent aux désignations en A3.

AEN	Autonomie d'éclairage naturel	
CE	Chaleur d'origine électrique	
Δh (deltah)	Différence d'enthalpie entre air extérieur et air soufflé	kJ/kg
D_m	Coefficient de lumière naturelle	
Δp (deltap)	Perte de charge de l'air soufflé et de l'air extrait	Pa
DT	Diverses techniques	
E	Demande spécifique d'électricité	MJ/m^{2}a
E	Eclairage	
e_{AS}	Demande d'électricité par ascenseur	kWh/a
e_{AT}	Demande d'électricité par trajet d'ascenseur	kWh/Fahrt
E_E	Demande spécifique d'électricité pour l'éclairage	MJ/m^{2}a
E_{EG}	Demande spécifique d'électricité pour l'éclairage général	MJ/m^{2}a
E_{ES}	Demande spécifique d'électricité pour l'éclairage supplémentaire	MJ/m^{2}a
E_m	Eclairement	lx
E_{PT}	Demande spécif. d'électr. pour l'équipement des postes de travail	MJ/m^{2}a
E_R	Demande spécifique d'électricité pour la réfrigération	MJ/m^{2}a
E_{RA}	Demande spécifique d'électricité pour la réfrigération de l'air	MJ/m^{2}a
E_{RE}	Demande spécifique d'électricité pour la réfrigération de l'eau	MJ/m^{2}a
ES	Etage	
E_{SC}	Demande spécifique d'électricité pour les services centraux	MJ/m^{2}a
E_{TA}	Demande spécifique d'électricité pour le transport de l'air	MJ/m^{2}a
f	Facteur d'exploitation	
f_{bES}	Facteur de fonctionnement de l'éclairage supplémentaire	
f_{cDT}	Facteur de durée de fonctionnement pour les div. techniques	
f_{cPT}	Facteur de durée de fonct.. pour l'équipmt des postes de travail	
f_{cRA}	Facteur de durée de fonctionnement pour la réfrigération de l'air	
f_{cRE}	Facteur de durée de fonctionnement pour la réfrigération de l'eau	
f_{cSC}	Facteur de durée de fonctionnement pour les services centraux	
f_{cTA}	Facteur de durée de fonctionnement pour le transport de l'air	
f_{eDT}	Facteur d'adaptation aux besoins pour les diverses techniques	
f_{eEG}	Facteur d'adaptation aux besoins pour l'éclairage général	
f_{ePT}	Facteur d'adaptation aux besoins pour l'équip. des postes de trav.	
f_{eRA}	Facteur d'adaptation aux besoins pour la réfrigération de l'air	
f_{eRE}	Facteur d'adaptation aux besoins pour la réfrigération de l'eau	
f_{eSC}	Facteur d'adaptation aux besoins pour les services centraux	
f_{eTA}	Facteur d'adaptation aux besoins pour le transport de l'air	
g	Facteur de transmission du rayonnement solaire	
g_E	Facteur de simultanéité de l'éclairage	
g_{EE}	Facteur de simultanéité des équipements d'exploitation	
g_p	Facteur de simultanéité de la présence des personnes	
h_{DT}	Heures à pleine charge pour les diverses techniques	h/a
h_E	Heures à pleine charge pour l'éclairage	h/a
h_{EG}	Heures à pleine charge pour l'éclairage général	h/a
h_{ES}	Heures à pleine charge pour l'éclairage supplémentaire	h/a

h_{PT}	Heures à pleine charge pour l'équipement des postes de travail	h/a
h_R	Heures à pleine charge pour la réfrigération	h/a
h_{RA}	Heures à pleine charge pour la réfrigération de l'air	h/a
h_{RE}	Heures à pleine charge pour la réfrigération de l'eau	h/a
h_{SC}	Heures à pleine charge pour les services centraux	h/a
h_{TA}	Heures à pleine charge pour le transport de l'air	h/a
h_U	Heures d'utilisation	h/a
h_{UDT}	Heures d'utilisation des diverses techniques	h/a
η	Rendement	
η_E (etaE)	Rendement d'éclairage	
η_{kRA} (etakRA)	Coeff. de perf. de l'installation frigorifique pour la réfrigér. de l'eau	
η_l (etal)	Efficacité lumineuse	lm/W
η_{RE} (etakRE)	Coeff. de perf. de l'installation frigorifique pour la réfrigér. de l'air	
η_{tot} (etatot)	Rendement global du ventilateur et du moteur	
IPE	Indice(s) de dépense d'énergie partiel(s)	MJ/m^2a
IPE_{DT}	Indice de dépense d'énergie partiel pour les diverses techniques	MJ/m^2a
k_{chDT}	Facteur d'énergie auxiliaire chauffage	
k_{hRA}	Facteur d'équipements auxiliaires pour la réfrigération de l'air	
k_{hRE}	Facteur d'équipements auxiliaires pour la réfrigération de l'eau	
k_{hTA}	Facteur d'équipements auxiliaires pour le transport de l'air, humidification incluse	
k_{pPT}	Facteur de puissance effective de l'équipement des postes de travail	
k_{vRA}	Facteur de pertes de distribution et de stockage pour la réfrigération de l'air	
k_{vRE}	Facteur de pertes de distribution et de stockage pour la réfrigération de l'eau	
n_{AS}	Nombre d'ascenseurs	
p	Puissance spécifique	W/m^2
p_{CT}	Charge thermique spécifique active	W/m^2
p_{CTE}	Charge thermique spécifique active pour l'éclairage	W/m^2
p_{CTEE}	Charge therm. spécif. active pour les équipements d'exploitation	W/m^2
p_{CTP}	Charge thermique spécif. active pour la présence de personnes	W/m^2
p_{CTRA}	Charge thermique spécifique, évacuée par la réfrigération de l'air	W/m^2
p_{CTRE}	Charge thermique spécifique, évacuée par la réfrigération de l'eau	W/m^2
p_{DT}	Puissance spécifique pour les diverses techniques	W/m^2
p_E	Puissance spécifique pour l'éclairage	W/m^2
p_{EE}	Puissance spécifique pour les équipements d'exploitation	W/m^2
p_{EG}	Puissance spécifique pour l'éclairage général	W/m^2
p_{ES}	Puissance spécifique pour l'éclairage supplémentaire (déco)	W/m^2
P_{PPT}	Puissance par personne ou par poste de travail	W/P
p_{PT}	Puissance spécifique pour les équipements des postes de travail	W/m^2
p_R	Puissance spécifique pour la réfrigération	W/m^2
p_{RA}	Puissance spécifique pour la réfrigération de l'air	W/m^2
p_{RE}	Puissance spécifique pour la réfrigération de l'eau	W/m^2
p_{SC}	Puissance spécifique pour les services centraux	W/m^2
P_{sPT}	Puissance en stand-by par appareil	W
PT	Equipements des postes de travail	
p_{TA}	Puissance spécifique pour le transport de l'air	W/m^2
Q	Demande d'électricité	MWh/a
Q_{ch}	Demande d'énergie de chauffage	MWh/a

Q_{DT}	Demande d'électricité pour les diverses techniques	MWh/a
Q_E	Demande d'électricité pour l'éclairage	MWh/a
Q_{ec}	Demande de chaleur pour l'eau chaude sanitaire	MWh/a
Q_{EG}	Demande d'électricité pour l'éclairage général	MWh/a
Q_{ES}	Demande d'électricité pour l'éclairage supplémentaire	MWh/a
Q_{PT}	Demande d'électricité pour l'équipement des postes de travail	MWh/a
Q_{RA}	Demande d'électricité pour la réfrigération de l'air	MWh/a
Q_{RE}	Demande d'électricité pour la réfrigération de l'eau	MWh/a
Q_{TA}	Demande d'électricité pour le transport de l'air	MWh/a
Q_{tot}	Demande d'électricité par prestation	MWh/a
R	Réfrigération	
RA	Réfrigération de l'air	
ρ_a	Densité de l'air	kg/m^3
r_{AP}	Densité d'appareils	appar./P
r_{AS}	Nombre de trajet des ascenseurs	trajets/a
RAVEL	Programme d'impulsion pour l'utilisation rationnelle de l'électricité	
RC	Rez-de-chaussée	
RE	Réfrigération de l'eau	
RECCHAL	Récupération de chaleur	
S/P	Surface par personne	m^2/P
SC	Services centraux	
SIA	Société suisse des ingénieurs et des architectes	
SICC	Société suisse des ingénieurs en chauffage et climatisation	
SP	Surface (brute) de plancher	m^2
spéc.	Spécifique	
SRE	Surface de référence énergétique	m^2
SS	Sous-sol	
TA	Transport de l'air	
ULN	Utilisation de la lumière naturelle	
v_{AS}	Débit spécifique d'air soufflé	m^3/h·m^2
VC	Ventilation et/ou climatisation	

A4.1.2 Unités

a	année	1 a = 8760 h
d	jour	
h	heures, heures d'utilisation, heures à pleine charge	1 h = 3600 s
J	joule	1 J = 1 Ws
kJ	kilojoule	1 kJ = 10^3 J
kW	kilowatt	1 kW = 10^3 W
kWh	kilowattheure	1 kWh = 3600 kJ
lx	lux (éclairement)	
lm	lumen	
m	mètre	
MJ	mégajoule	1 MJ = 10^6 J
MWh	mégawattheure	1 MWh = 3600 MJ
P	personne	
Pa	pascal	
s	seconde	
W	watt	
Wh	wattheure	1 Wh = 3600 J
°C	degré Celsius	

A4.2 Campagne de mesure en vue de la fixation des exigences

A4.2.1 Objectif

Dans le cadre du test d'une version préliminaire de la recommandation SIA 380/4 "L'énergie électrique dans le bâtiment", une campagne d'acquisition de données a été réalisée en 1992/94. L'objectif était de collecter des données de consommation d'énergie pour les prestations "éclairage" et "ventilation ou climatisation" comme base pour les exigences ainsi que pour le procédé de calcul simplifié définis au paragraphe 4.3.

Dans ce but, on a d'une part procédé au dépouillement de données déjà disponibles et d'autre part effectué des mesures supplémentaires. Parmi les campagnes de mesures les plus importantes réalisées en Suisse, ainsi qu'à partir de différents objets isolés (tableau A4–1), on a choisi environ 60 objets. Ce sont donc environ 350 zones d'une surface de plancher totale d'environ 560'000 m^2 qui furent intégrées dans une base de données.

Etude	**Mandant /Responsable**	**Nombre d'objets**
Rapports d'études EEH	SIA/Elektrowatt, Weinmann	6
Potentiels d'économies dans la consommation d'électricité de dix entreprises de service typiques sélectionnées	Office fédéral de l'énergie / Amstein & Walthert, Intep	11
Utilisation rationnelle de l'électricité dans les bâtiments	Services de l'énergie SH et TG /Divers bureaux d'ingénieurs	9
Programme énergétique UNIKATZ	ATAL Zurich /Divers bureaux d'ingénieurs	10
Etudes RAVEL	Office fédéral des questions conjoncturelles / divers bureaux d'ingénieurs	8
Divers		13
Total		57

Tableau A4–1: Vue d'ensemble des études sur la consommation d'électricité des bâtiments ayant été prises en considération

Les données et résultats sont présentés en détail dans divers rapports (voir [4], [9], [12], annexe A4.3). Les données tirées de ces mesures ont servi de base à la fixation définitive des valeurs-limites et des valeurs-cibles de la recommandation SIA 380/4. De plus, d'importants facteurs d'influence pour la consommation d'énergie ont été mis en évidence.

A4.2.2 L'éclairage

La consommation d'électricité

La dispersion de la consommation d'électricité est élevée (voir figure A4–2). Le principal facteur d'influence est l'intensité de la lumière naturelle disponible. Durant les dernières années, la consommation a pu être notablement réduite grâce à des améliorations des rendements. La puissance spécifique installée a été réduite d'environ 20 W/m^2 à 10 W/m^2, valeur considére actuellement comme normale.

Facteurs d'influence importants

Disponibilité de la lumière naturelle: Dans les bureaux, le facteur principal d'influence est la lumière naturelle. Le rapport entre les surfaces des fenêtres et du sol représente une grandeur caractéristique simple et utile pour la lumière naturelle. Dans les surfaces de vente, la lumière naturelle est à peine utilisée.

Contrôle-commande: L'utilisation de la lumière du jour nécessite une adaptation du contrôle-commande. Dans les surfaces de vente, la commande de l'éclairage doit prendre en compte les heures d'ouverture. L'éclairage de décoration doit pouvoir être enclenché séparément.

Puissance spécifique: Dans les bureaux, la puissance spécifique a été fortement réduite. Dans les surfaces de vente (à cause de la faible utilisation de la lumière naturelle), la puissance spécifique est la principale grandeur d'influence pour la consommation d'énergie.

Année de construction: La figure A4–3 montre la demande spécifique d'électricité pour la zone de bureaux, représentée en fonction de l'année de construction. Malgré le fait qu'une grande dispersion peut être constatée, la consommation d'énergie montre une nette tendance à la baisse.

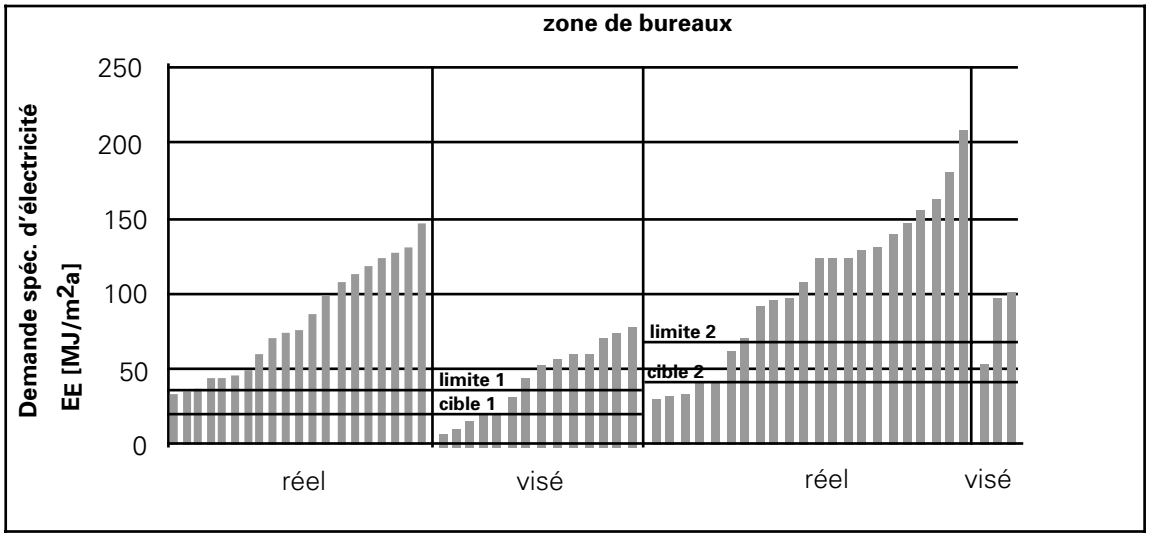


Figure A4–2: Demande spécifique d'électricité pour l'éclairage, comparée avec les valeurs-limites et les valeurs-cibles pour la zone de bureaux (1: principalement avec lumière naturelle = locaux d'une profondeur < 5 m; 2: en partie avec lumière naturelle = locaux d'une profondeur de 5 à 10 m)

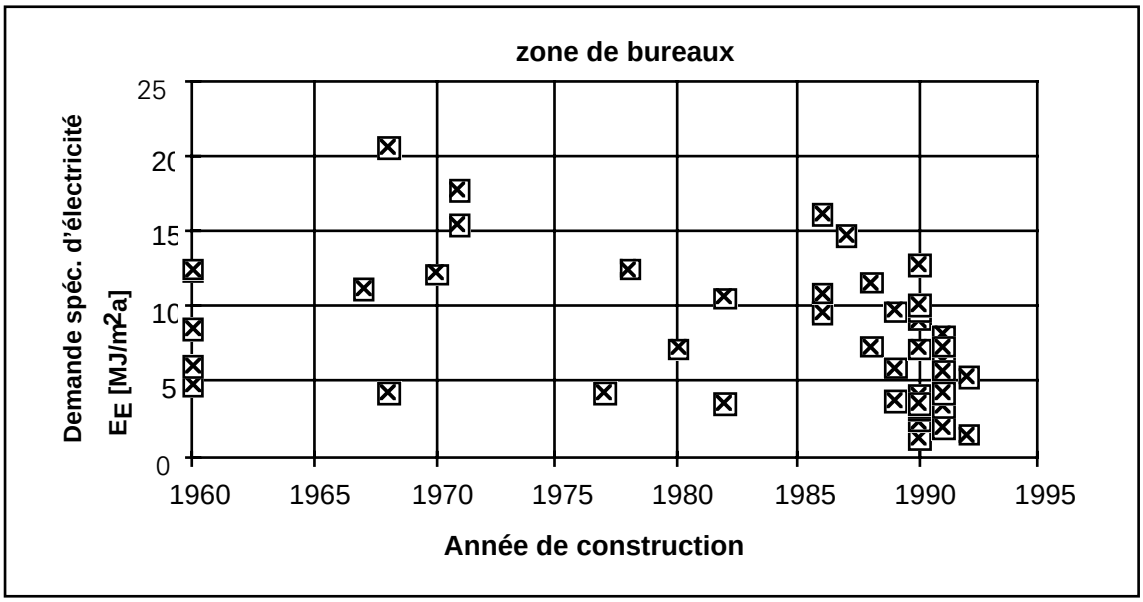


Figure A4–3: Demande spécifique d'électricité pour l'éclairage en fonction de l'année de construction pour la zone de bureaux

A4.2.3 Ventilation ou climatisation
Consommation d'électricité des bureaux

La demande spécifique d'électricité de zones de bureaux présente une grande dispersion, en fonction des différentes charges thermiques internes (voir figure A4–4),. Alors que les valeurs mesurées les plus élevées dépassent fortement la valeur-limite, les valeurs mesurées les plus basses sont pour leur part inférieures à la valeur-cible.

Principaux facteurs d'influence

Les dépouillements effectués révèlent les facteurs d'influence suivants:

Système de ventilation/climatisation: il n'y a aucune relation évidente entre le système de ventilation/climatisation et la demande d'électricité. Cependant, on peut déduire des résultats de mesures que des installations ayant un faible débit spécifique ($V_S < 5$ m^3/hm^2), par conséquent une faible consommation d'énergie pour le transport de l'air, présentent également une faible consommation d'électricité. De façon analogue, des installations équipées de "systèmes de refroidissement passifs" (refroidissement adiabatique, puits canadiens, réfrigération nocturne, etc.) ou encore de "réfrigération uniquement en été" présentent une faible consommation d'électricité.

Fonctions de ventilation/climatisation: le transport de l'air exerce une influence dominante sur la consommation d'énergie de l'installation de ventilation/climatisation. Sa part atteint dans la plupart des cas 50%. La part de la réfrigération varie fortement, dépendant du système adopté, et avant tout du niveau de confort (c'est-à-dire de la température de local exigée). Des installations présentant une faible consommation d'électricité atteignent également un faible pourcentage pour la réfrigération de l'air et de l'eau. Des installations avec un débit variable (VAV) ne conduisent pas forcément à une faible consommation d'énergie.

Conception et dimensionnement: Les pertes de charges (voir figure A4–5) sont souvent beaucoup plus élevées qu'il n'est généralement admis, ou par exemple indiqué dans la recommandation SIA 382/3. Dans les installations récentes, la tendance est plutôt à la hausse (récupération de chaleur, filtres).

Le débit spécifique par personne est, dans toutes les installations mesurées, (considérablement) plus élevé qu'indiqué dans la recommandation SIA 382/1. Tout-au-plus dans trois objets soumis à mesure, le débit spécifique par personne est inférieur à 70 m^3/hP. Les raisons à ces valeurs élevées sont à chercher dans la densité d'occupation des bureaux, effectivement plus faible que prévu généralement lors de la conception, ainsi que dans les charges thermiques plus faibles. Les valeurs de la surface par personne varient entre 10 et 20 m^2/P, et la moyenne se trouve vers 14 m^2/P (dans la conception, la valeur admise est généralement 10 m^2/P).

Durée de fonctionnement: Dans les bureaux, les heures de fonctionnement effectives sont souvent plus élevées que la durée d'utilisation de 2750 h/a. La moyenne constatée dans les bureaux soumis à mesure atteint 3440 h/a. Des installations régulées en fonction de la demande présentent des durées nettement plus faibles.

Année de construction: Il n'est pas possible de constater de tendance nette à la baisse de la consommation spécifique d'électricité dans les nouvelles installations (voir figure A4–6). La dispersion de la demande spécifique d'électricité dans les installations récentes est grande: en particulier, il apparaît dans les nouveaux concepts de ventilation/climatisation de grandes différences d'un cas à l'autre. L'interprétation variable des limites de confort (par exemple température de local acceptable, humidité de l'air ambiant) conduit à différents concepts et à des différences correspondantes dans les consommations d'énergie. Les résultats de mesures montrent cependant qu'un potentiel d'économie existe, qu'il s'agit d'exploiter.

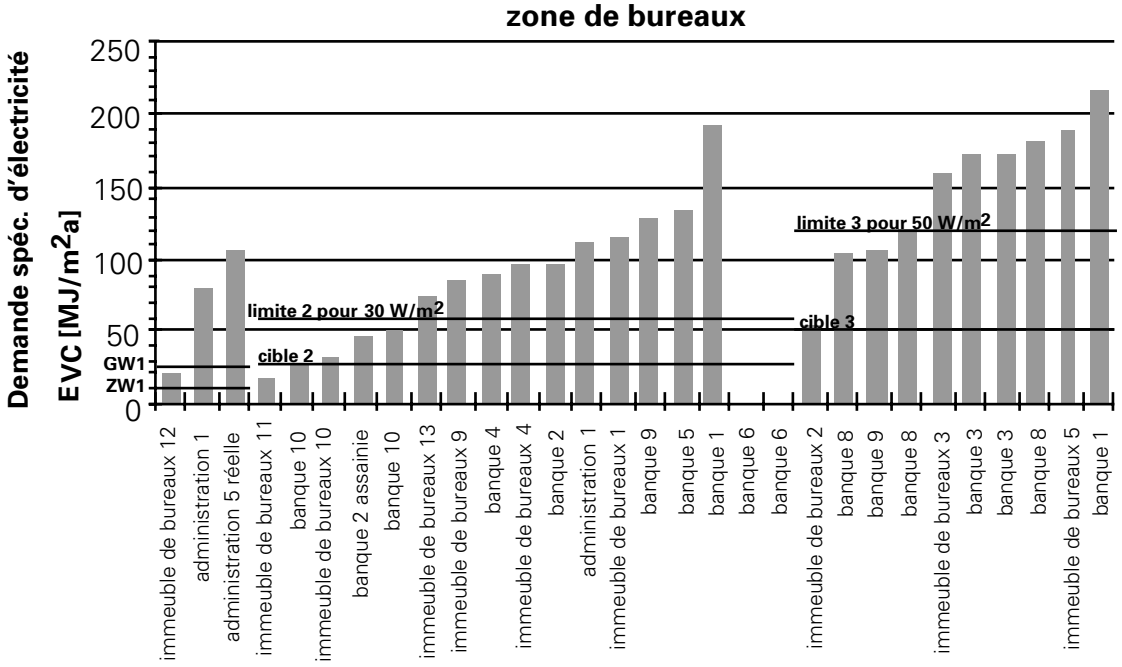


Figure A4–4: Demande spécifique d'électricité pour différentes charges thermiques internes, comparée avec les valeurs-limites et les valeurs-cibles de la zone de bureaux (charges thermiques internes 1: > 20 W/m^2; 2: 20 à 30 W/m^2; 3: 30 à 50 W/m^2)

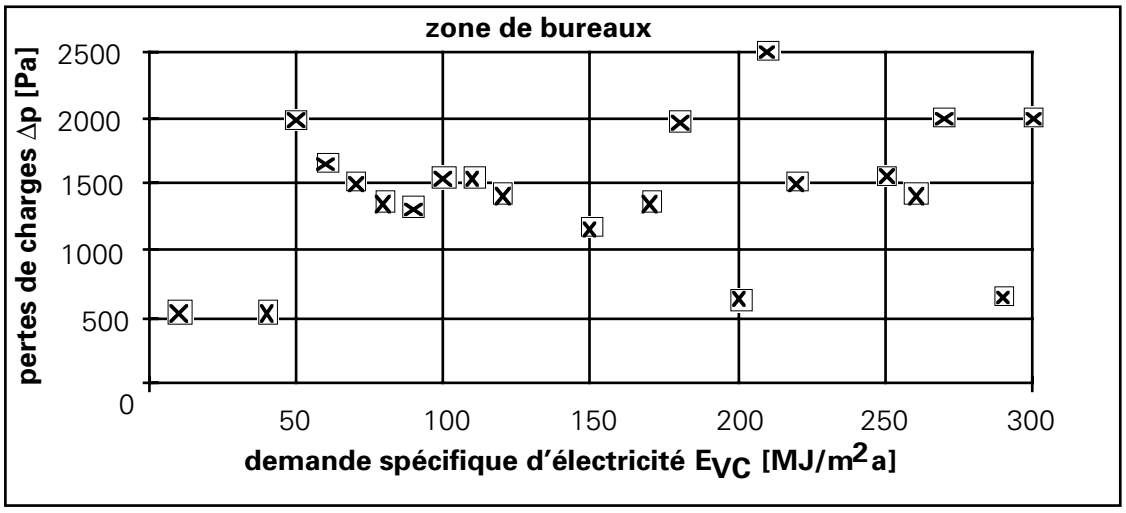


Figure A4–5: Pertes de charges d'installations de ventilation ou de climatisation en fonction de la demande spécifique d'électricité pour la ventilation ou la climatisation.

L'expérience tirée de ces mesures montre que la demande spécifique d'électricité d'installations de ventilation ou de climatisation varie suivant un facteur de 5 à 10 pour des bâtiments comparables. En outre, il n'existe pas de relation univoque entre la consommation d'électricité et le genre de système de ventilation ou de climatisation. Le transport de l'air exerce cependant une influence dominante. Les pertes de charges des systèmes, les débits spécifiques et la durée de fonctionnement d'installations de ventilation ou de climatisation ont généralement des valeurs nettement plus élevées que celles généralement admises.

A4.2.4 Fixation des valeurs-limites et des valeurs-cibles

La fixation des exigences dans la recommandation SIA 380/4 est expliquée à l'exemple de l'éclairage des bureaux. Ce sont en tout 22 zones de bureaux aux conditions d'utilisation identiques (éclairement 500 lx, locaux de plus de 6 m de profondeur, donc avec utilisation partielle de la lumière naturelle) qui représentent la base de fixation de paires de valeurs-limites et valeurs-cibles. La grande différence que l'on trouve entre la plus petit demande d'électricité (bâtiment 1: 36 MJ/m^{2}a) et la plus élevée (bâtiment 22: 195 MJ/m^{2}a) montre clairement qu'il existe là de grands potentiels d'économies.

La valeur-moyenne des zones de bureaux mesurées se trouve dans le cas présent très près de 100 MJ/m^{2}a. La valeur-limite a été fixée à 70 % de cette moyenne de mesure constatée (donc à 70 MJ/m^{2}a). La valeur-cible peut être calculée sur la base des meilleures techniques disponibles actuellement et du cadre dans lequel on se trouve: 10 W/m^2 de puissance installée et 1100 heures de fonctionnement par an. Cette durée de fonctionnement peut être atteinte dans de grands bureaux équipés d'un réglage continu de l'éclairage en fonction de la lumière extérieure dans la zone des fenêtres.

Dans notre exemple, 15% des bâtiments atteignent la valeur-cible et environ 1/3 la valeur-limite. Le fait que la plupart des bureaux mesurés n'atteignent pas la valeur-limite, qu'ils la dépassent même massivement pour certains, dépend fortement de l'âge des installations concernées, ainsi que des composants d'installations d'éclairage mal choisis d'après les critères actuels. C'est ainsi que l'on trouve, dans le bâtiment 22, par exemple 22 W/m^2 de puissance installée, et qu'en plus les lampes brûlent continuellement sans régulation durant toute la durée d'utilisation de 2750 heures par an. Depuis lors sont intervenus dans différents domaines de l'application de l'électricité de véritables sauts technologiques, si

bien que de nombreux bâtiments récents ont de bien meilleures valeurs en matière de consommation d'électricité.

En plus de l'éclairage de bureaux décrit ci-dessus, environ 50 autres zones ont été mesurées, vérifiées par le calcul, pour fixer par la même démarche les valeurs-limites et les valeurs-cibles.

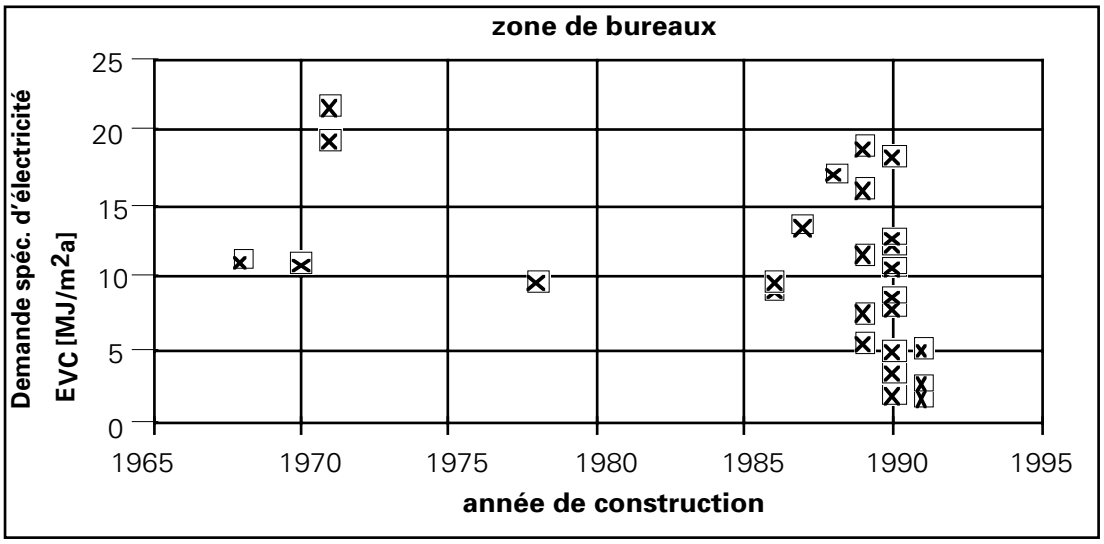


Figure A4–6: Demande spécifique d'électricité pour la ventilation ou la climatisation en fonction de l'année de construction de l'installation de ventilation ou de climatisation de la zone de bureaux

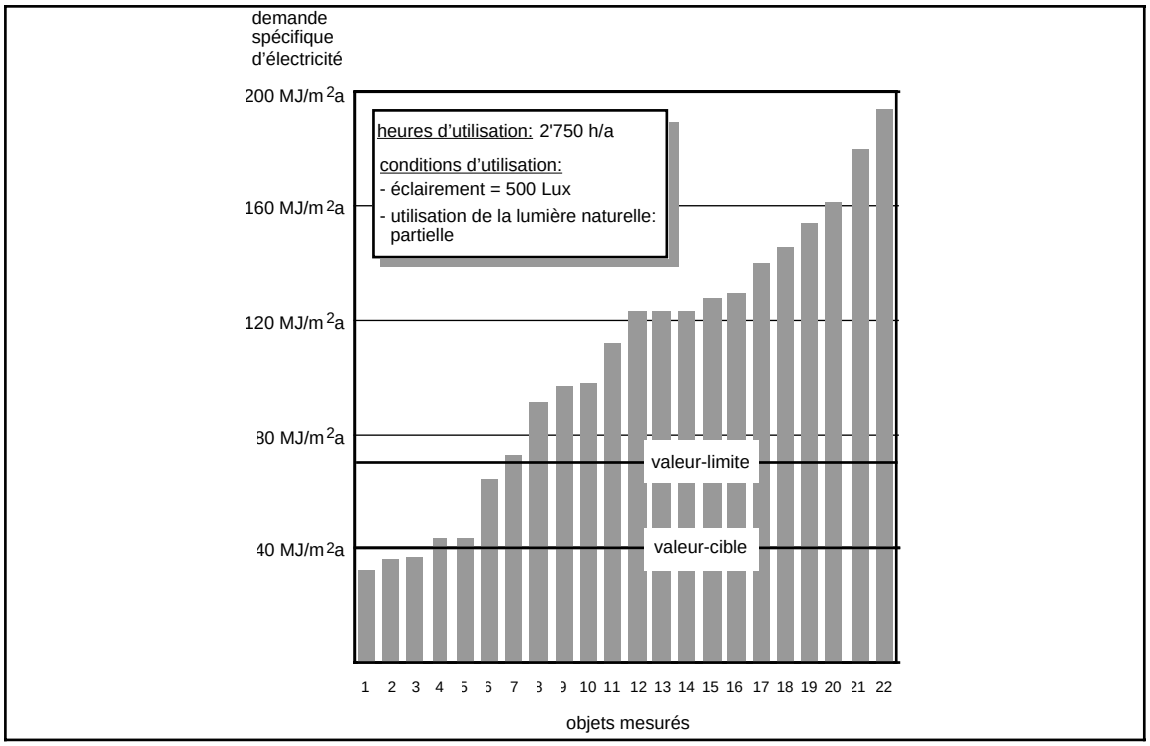


Figure A4–7: Campagne de mesures pour déterminer les valeurs-limites et valeurs-cibles (exemple d'éclairage de bureaux)

A4.3 Bibliographie

[1] Recommandation SIA 380/1 "L'énergie dans le bâtiment", Société suisse des ingénieurs et architextes, Zurich, 1988

[2] "Elektrische Energie im Hochbau", Dokumentation K 92–040, Schweiz. Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich, 1992 (projet non publié)

[3] Manuel RAVEL, "L'électricité à bon escient", RAVEL, Office fédéral des questions conjoncturelles, Berne, 1993

[4] SIA 380/4 L'application: "Datenbeschaffung", Schlussbericht, Intep AG im Auftrag des Bundesamtes für Energiewirtschaft und der Kommission SIA 380/4, Zürich, 1994 (non publié)

[5] "Energieverbrauch von Bürogeräten", Schlussbericht, Dr. Eicher+Pauli AG, Liestal, 1994

[6] "Handbuch für Beleuchtung", Schweizerische Lichttechnische Gesellschaft, 5. Auflage, 1992

[7] SN 418 911, "Innenraumbeleuchtung mit Tageslicht", Leitsätze der Schweizerischen Lichttechnischen Gesellschaft (SLG), 1989

[8] "Computerprogramme pour die Beleuchtungsplanung", Wegleitung, Schweizerische Lichttechnische Gesellschaft (SLG), 1994

[9] SIA 380/4 Anwendung: "Beleuchtung", Schlussbericht, Intep AG im Auftrag des Bundesamtes für Energiewirtschaft und der Kommission SIA 380/4, Zürich, 1994 (non publié)

[10] Directive SICC 83–2, "Calculation des coûts d'exploitation des équipements de ventilation/climatisation"

[11] "Meteodaten für die Haustechnik ", Dokumentation D 012, Schweiz. Ingenieur- und Architekten-Verein, Zürich, 1987

[12] SIA 380/4 Anwendung: "Datenauswertung Aussenluftzufuhr/ Raumkonditionierung", Schlussbericht, Intep AG im Auftrag des Bundesamtes für Energiewirtschaft und der Kommission SIA 380/4, Zürich, 1994 (non publié)