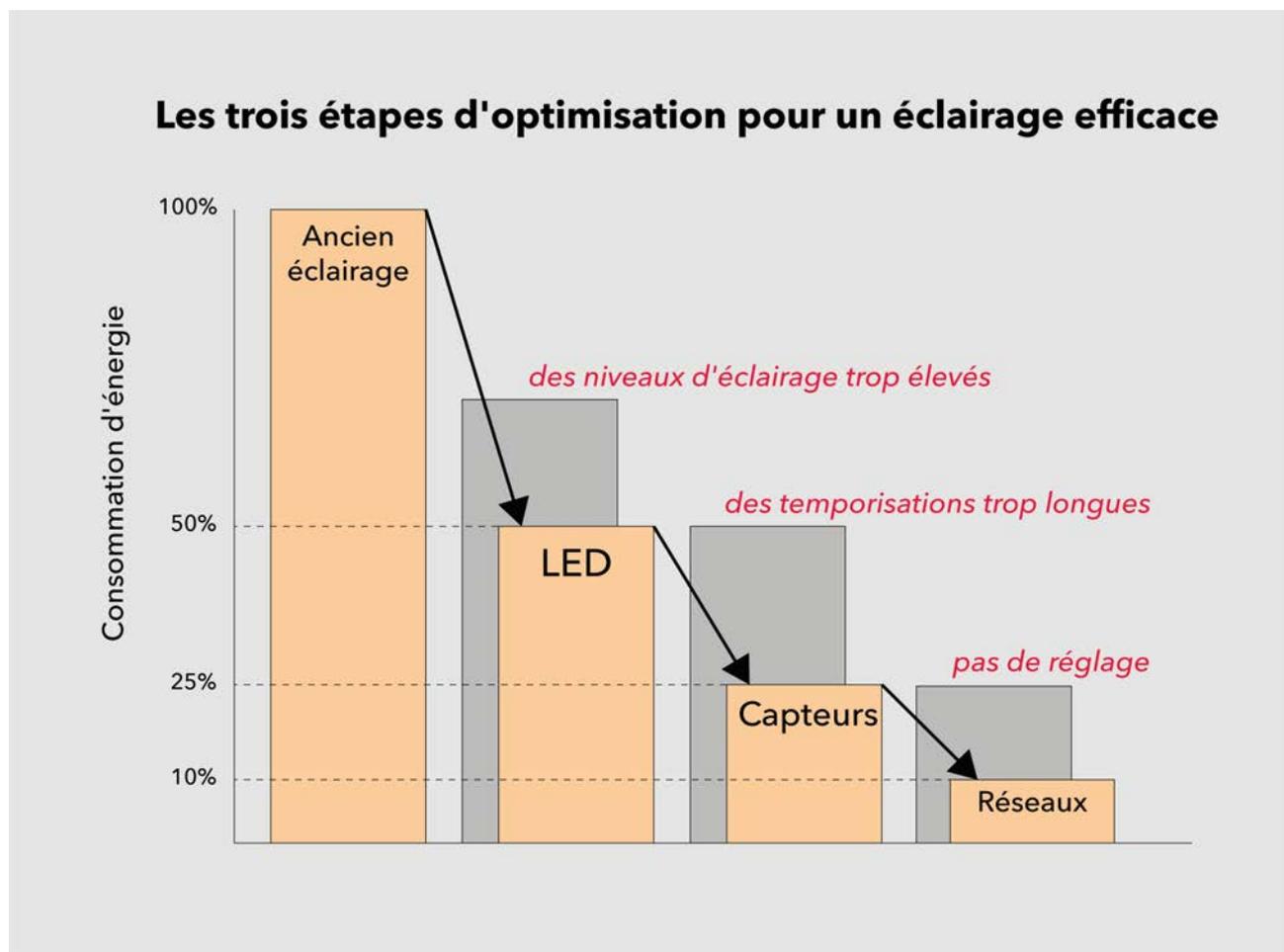


Rapport final «SensoLight», 22.12.23

# Six études de cas sur l'éclairage intelligent



## **Auteur**

Stefan Gasser, Association suisse pour l'éclairage SLG, Römerstrasse 7, 4600 Olten

## **Traduction**

Gregory Bartholdi, Association suisse pour l'éclairage SLG, Römerstrasse 7, 4600 Olten

## **Groupe consultatif**

- Stefan Kull und Simon Burri (Swisslux AG)
- Matthias Käser (Nevalux AG)
- Zdenek Mazura (Theben HTS)
- Michael Koster (Zumtobel AG)
- Sabrina Schleicher (Steinel GmbH)

Cette étude a été réalisée avec le soutien de SuisseEnergie.  
Les auteurs sont seuls responsables de son contenu.

## **Merci**

Outre les réunions du groupe consultatif, les fournisseurs impliqués et les membres du groupe consultatif ont rendu les projets possibles et ont apporté une grande collaboration sous forme de travail personnel.

Les exploitants des projets examinés ont aimablement mis les projets à disposition et rassemblé tous les documents nécessaires. Ils ont également permis l'accès aux installations électriques et aux locaux des bâtiments.

Les photos proviennent en partie des maîtres d'ouvrage, des fournisseurs ou ont été réalisées pour ce projet.

Les études de cas ont été réalisées dans le cadre de l'initiative «energylight».

[www.energylight.ch](http://www.energylight.ch)



# Table des matières

<b>1 Synthèse.....</b>	<b>4</b>
<b>2 Principes de départ.....</b>	<b>6</b>
2.1 Éclairage intelligent .....	6
2.2 Procédure.....	7
2.3 Partenaires du projet .....	8
2.4 Typologie des études de cas.....	8
<b>3 Méthode de mesure.....</b>	<b>9</b>
3.1 Méthodes de mesure.....	9
3.2 Mesure de la puissance de fonctionnement .....	10
3.3 Mesure de l'éclairage.....	10
3.4 Mesure de la courbe de charge de la puissance électrique .....	11
3.5 Compteur d'énergie fixe.....	11
3.6 Enregistreur de données pour les niveaux d'éclairage.....	12
<b>4 Études de cas .....</b>	<b>13</b>
4.1 Etude de cas 1 : Immeuble d'habitation «im Guss» à Bülach .....	13
4.2 Etude de cas 2 : Immeuble d'habitation «Rütihof» à Zurich .....	17
4.3 Etude de cas 3 : Centre hospitalier de Bienne.....	21
4.4 Etude de cas 4 : Bâtiment industriel «SIG allCap» à Neuhausen .....	25
4.5 Etude de cas 5 : école 'Sennweid' à Baar .....	29
4.6 Etude de cas 6 : parking 'Heuried' à Zurich.....	33
4.7 Projets abandonnés .....	37
<b>5 Recommandations pour les planificateurs .....</b>	<b>38</b>
5.1 Typologie des capteurs.....	38
5.2 Check-list capteurs.....	39
5.3 Les trois étapes d'optimisation pour un éclairage efficace .....	40

# 1 Synthèse

Sur la base de l'«accord de Davos sur l'éclairage» en septembre 2018, l'Association suisse pour l'éclairage SLG a lancé le programme de mise en œuvre «energylight» en collaboration avec de nombreux partenaires. Dans le cadre d'«energylight», des projets sont réalisés qui contribuent à l'exploitation de l'important potentiel d'économie d'énergie dans l'éclairage, estimé à 3500 gigawattheures par an.

Le projet intitulé «SensoLight» a pour objectif de démontrer le potentiel d'économie d'énergie effectif des installations d'éclairage "intelligentes" par rapport aux éclairages traditionnels et de le prouver par des mesures techniques. Six études de cas ont été menées dans différents domaines d'application :

- Aires de circulation dans les lotissements (2 projets)
- Couloir d'hôpital
- Hall industriel
- Salle de classe
- Garage souterrain

Les partenaires du projet sont les membres de l'association de fabricants Sensnorm ([www.sensnorm.com](http://www.sensnorm.com)) ainsi que le fabricant de luminaires Zumtobel. Les partenaires ont évalué les études de cas pour le projet et ont soutenu la réalisation pratique des mesures sur place. Une étude de cas antérieure du service des bâtiments de la ville de Zurich sur le même sujet a également été intégrée dans le présent rapport.

L'évaluation des mesures montre que dans les zones de circulation, l'utilisation de "systèmes d'éclairage intelligents" (luminaires commandés par capteurs et mis en réseau fonctionnant en groupe) permet d'économiser entre 82% et 94% d'énergie. Dans les surfaces utiles principales, les économies sont moindres : dans les salles de classe étudiées, elles sont de 58% et dans le hall industriel, de 55% (par rapport au fonctionnement de jour).

**L'une des principales conclusions du projet est que, dans toutes les études de cas, l'influence des capteurs et de la mise en réseau des luminaires contribue davantage à l'augmentation de l'efficacité énergétique que le remplacement des sources lumineuses conventionnelles par des LED.** Il faut toutefois noter que les économies importantes réalisées grâce aux capteurs ne peuvent être exploitées que si les capteurs sont également correctement réglés. Les temporisations doivent être minimales (1 à 2 minutes maximum) et l'éclairage maximal ne doit pas dépasser de plus de 20% la valeur normalisée de la norme SN-EN 12464-1 (éclairage des lieux de travail intérieurs).

La conclusion du projet est qu'un éclairage intelligent correctement ajusté dans tous les types de zones de circulation peut apporter une très grande contribution à l'efficacité énergétique de l'éclairage ; selon le modèle de parc immobilier, environ 14% de la surface totale des bâtiments en Suisse (environ 760 millions de m<sup>2</sup>) sont des zones de circulation (couloirs, escaliers, garages, locaux annexes). En particulier dans les zones de circulation des quelque 500 000 immeubles d'habitation de Suisse, un éclairage intelligent permettrait non seulement de réaliser des économies d'énergie, mais aussi d'apporter un avantage supplémentaire en termes de sécurité.

Dans les projets où les surfaces utiles principales ont été mesurées, il est également apparu qu'une commande de l'éclairage fonctionnant bien et correctement réglée permettait de réaliser des économies d'énergie supplémentaires importantes, au-delà du changement de

technologie. La régulation à lumière constante a notamment une grande influence dans les deux projets étudiés (école et halle industrielle) - les luminaires à LED se laissent très bien réguler en raison de leur technologie.

Les résultats de l'évaluation dans les surfaces utiles principales montrent qu'il existe également un grand potentiel dans les espaces de travail avec lumière du jour. Ces surfaces devraient être analysées en détail dans les études de cas suivantes.

Le graphique ci-dessous compare les consommations d'énergie spécifiques mesurées des anciennes et des nouvelles installations d'éclairage des six études de cas. Les économies réalisées sont également indiquées. Pour l'étude de cas "hall industriel", seule la consommation d'énergie pendant la journée est représentée afin de rendre la comparaison plus transparente - le hall produit 24 heures sur 24.

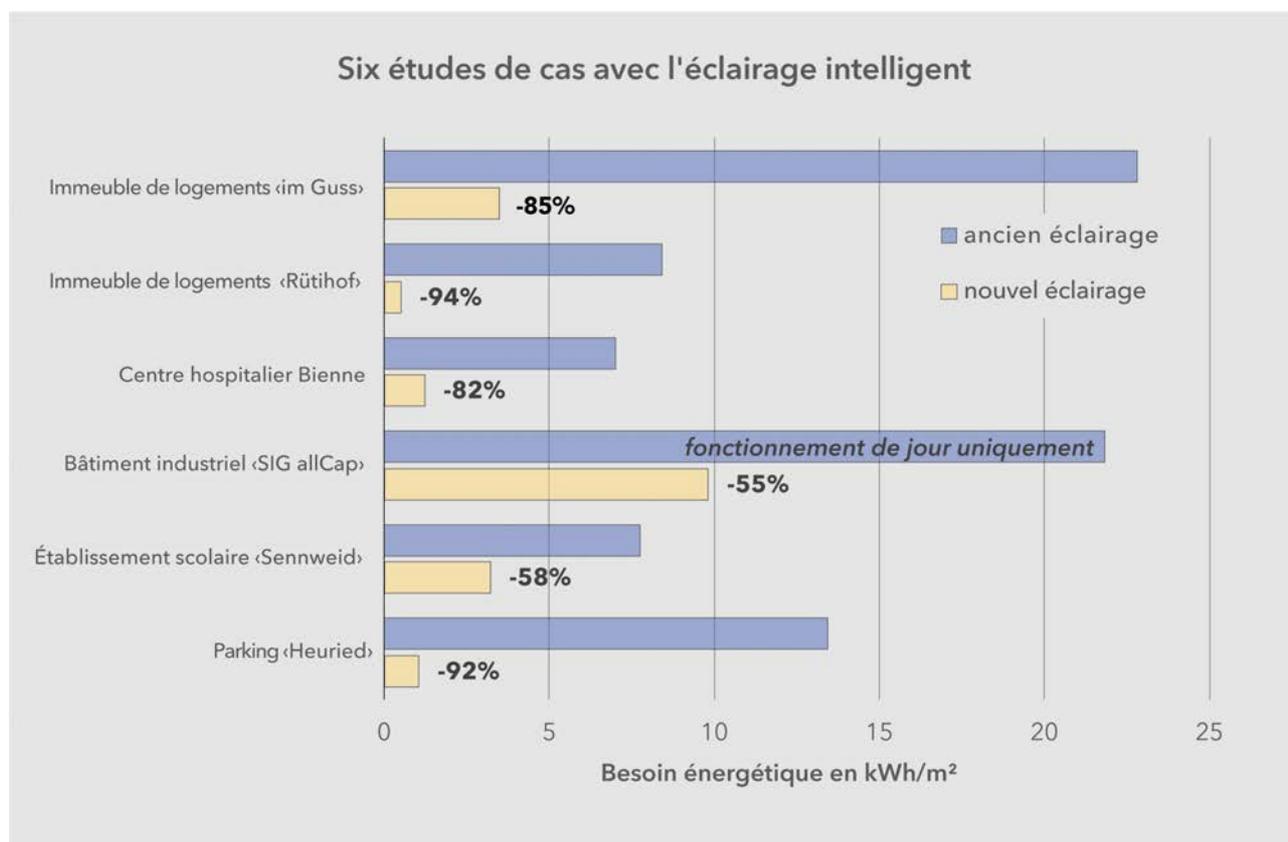


Figure 1: Aperçu des études de cas avec la consommation d'énergie spécifique de l'ancien et du nouvel éclairage, ainsi que les économies réalisées

## 2 Principes de départ

### 2.1 Éclairage intelligent

Un éclairage ne peut pas être intelligent ; ce terme est issu du monde du marketing. Dans la nouvelle norme 387/4 (édition 2023), la SIA décrit la notion de luminaires à capteurs en réseau comme suit :

Dans une solution d'éclairage optimale, l'éclairage n'est allumé que là où il est effectivement nécessaire. Les zones sans activité humaine ou avec suffisamment de lumière du jour ne doivent pas être éclairées artificiellement. Dans les zones de circulation (couloirs, parkings) ou les locaux annexes peu utilisés (entrepôts, etc.), les luminaires en réseau avec capteurs intégrés permettent d'économiser jusqu'à 95 % d'énergie.

Une solution d'éclairage optimale comprend les fonctions suivantes :

- Chaque luminaire, ou un petit groupe de quatre luminaires environ, possède son propre capteur de présence et de lumière du jour.
- Les luminaires sont reliés entre eux, de sorte que les luminaires environnants reçoivent les informations des capteurs des luminaires voisins.
- Lorsqu'une personne se déplace dans la zone de détection d'un capteur, les luminaires situés à proximité immédiate s'allument en plein jour - dans la mesure où la lumière du jour n'est pas suffisante. Les luminaires environnants dans le sens du déplacement passent en éclairage d'orientation (p. ex. 20 % de la lumière totale).
- Peu de temps après avoir quitté la zone de détection du capteur (p. ex. au bout d'une minute), le niveau d'éclairage est à nouveau abaissé à l'éclairage d'orientation. Peu de temps après, elle est complètement éteinte.
- La lumière artificielle suit en amont les personnes présentes ou en mouvement - à l'extérieur, une lumière d'orientation est allumée ou il fait sombre.

Les installations d'éclairage conçues de cette manière permettent d'économiser nettement plus d'énergie que les commandes par capteurs traditionnelles. Dans le justificatif énergétique selon SIA 387/4, un type de fonction spécifique est disponible pour les luminaires à capteurs en réseau.

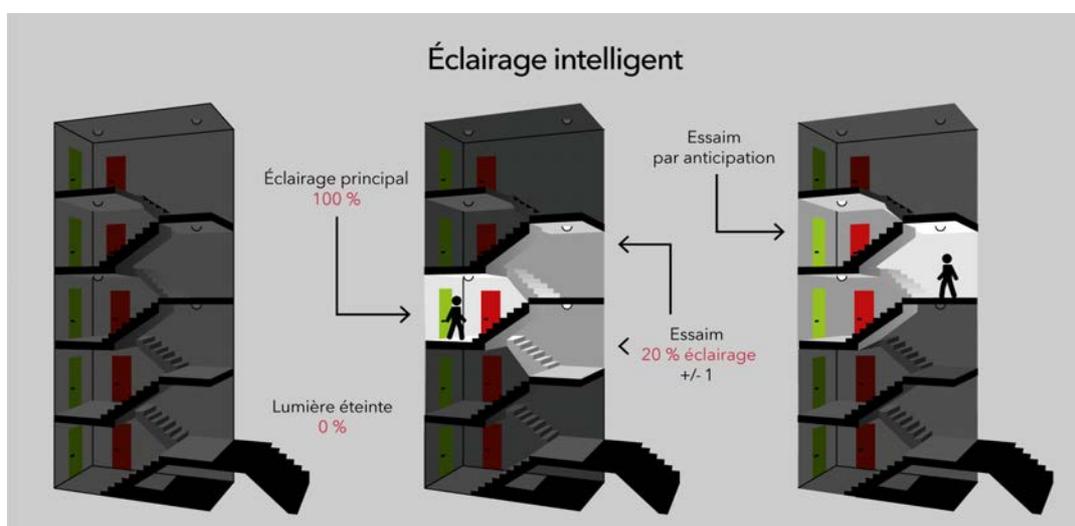


Figure 2: Principe de fonctionnement des luminaires en réseau commandés par des capteurs (exemple de la cage d'escalier)

## 2.2 Procédure

Toutes les études de cas ont été apportées par les partenaires du projet. Les maîtres d'ouvrage et les exploitants des différents objets ont dû être convaincus de l'utilité des études et donner leur accord pour la réalisation des mesures.

Le choix de la méthode de mesure, l'utilisation des appareils de mesure et la durée des mesures ont été définis individuellement pour chaque objet - voir également les explications sur la méthode de mesure au chapitre 3 du rapport.

Conformément à ce concept, les différentes mesures ont été effectuées dans les bâtiments sélectionnés, aussi bien les valeurs instantanées (puissance, éclairage) que les mesures à long terme sur plusieurs semaines (évolution de la charge de la puissance, évolution de l'éclairage). Afin d'obtenir des résultats aussi représentatifs que possible, les mesures de longue durée ont été effectuées dans des projets utilisant la lumière du jour à différentes périodes de l'année.

L'analyse des nombreuses données de mesure sur ordinateur a permis de tirer des conclusions intéressantes, qui ont été visualisées dans de nombreux graphiques. Les plus importants sont illustrés au chapitre 4, "Études de cas". Dans certains cas, les mesures ont dû être répétées car certains paramètres n'avaient pas été réglés de manière optimale au départ, ce qui empêchait toute évaluation pertinente.

Un rapport de mesure a été rédigé pour chaque étude. Toutes les études de cas ont été publiées à plusieurs reprises dans des revues spécialisées (eTrends, Elektrotechnik, eco2friendly, autres).

L'ensemble du processus a été accompagné par un groupe d'experts qui s'est réuni dix fois au total.

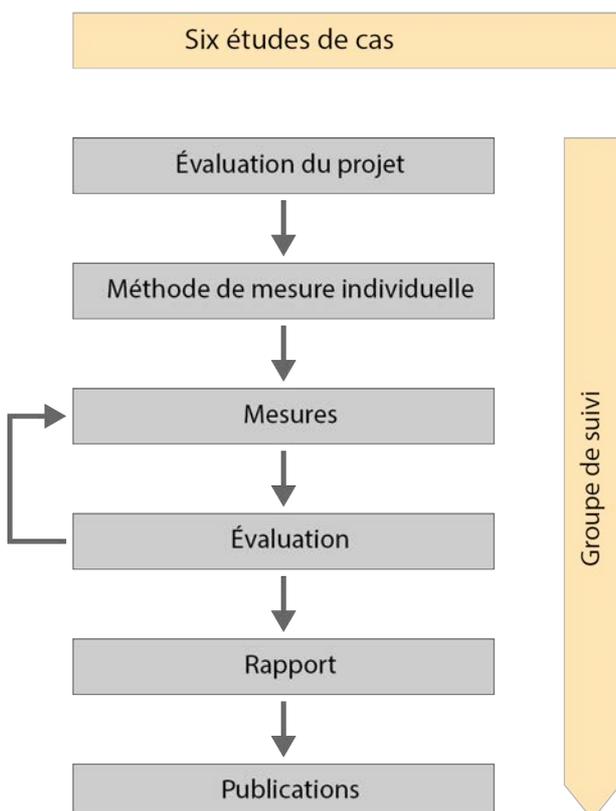


Figure 3: Procédure dans le projet «SensuLight»

## 2.3 Partenaires du projet

Les partenaires primaires du projet étaient les fabricants ou les fournisseurs des systèmes d'éclairage commandés par capteurs. Ceux-ci faisaient également partie du groupe d'accompagnement. Les autres partenaires étaient les gestionnaires qui ont mis les objets à disposition pour les études de cas.

	Fournisseur	Gestionnaires
1. Immeuble d'habitation «im Guss» à Bülach	Swisslux	Wincasa AG
2. Immeuble d'habitation «Rütihof» à Zurich	Nevalux	Coopérative d'habitation ASIG
3. Centre hospitalier Bienne	Theben HTS	Centre hospitalier Bienne
4. Bâtiment industriel «SIG allCap» à Neuhausen	Zumtobel	Reasco Immobilien AG
5. Établissement scolaire «Sennweid» à Baar	Nevalux	Einwohnergemeinde Baar
6. Parking «Heuried» à Zurich	Steinel	Ville de Zurich, Immobilier

Tableau 1 : Exemples de cas et partenaires de projet

### Groupe de suivi :

- Stefan Kull, successeur Simon Burri (Swisslux AG)
- Matthias Käser (Nevalux AG)
- Zdenek Mazura (Theben HTS)
- Michael Koster (Zumtobel AG)
- Sabrina Schleicher (Steinel GmbH)
- Stefan Gasser (Association Suisse pour l'Éclairage, Chef de projet)

## 2.4 Typologie des études de cas

Sur les six études de cas, l'ancien et le nouvel éclairage ont été mesurés dans quatre projets et, dans deux projets, les réglages de base à la sortie d'usine d'un nouvel éclairage ont été comparés à l'état optimisé (intensité lumineuse optimale, temporisation courts).

	Ancien et nouveau Éclairage	Sortie d'usine et état optimisé
1. Immeuble d'habitation «im Guss» à Bülach		x
2. Immeuble d'habitation «Rütihof» à Zurich	x	
3. Centre hospitalier Bienne	x	
4. Bâtiment industriel «SIG allCap» à Neuhausen		x
5. Établissement scolaire «Sennweid» à Baar	x	
6. Parking «Heuried» à Zurich	x	

Tableau 2 : Exemple de cas de type "ancien-nouveau" ou optimisation

### 3 Méthode de mesure

#### 3.1 Méthodes de mesure

Pour pouvoir prouver les économies d'énergie réalisées grâce à un éclairage commandé par des capteurs et mis en réseau, il est nécessaire de mesurer la consommation d'énergie, la puissance électrique et les niveaux d'éclairages dans l'ancien et le nouvel état.

Il est très rare que la consommation d'énergie d'une installation d'éclairage puisse être simplement relevée par un compteur installé. Les appareils d'éclairage sont raccordés à différents endroits du réseau électrique d'un bâtiment et ne peuvent donc pas être mesurés dans leur ensemble. C'est pourquoi, selon la situation, une combinaison de différentes méthodes de mesure est utilisée.

Les mesures instantanées de la puissance électrique des luminaires utilisés et des éclairages moyens dans les utilisations étudiées sont complétées par des mesures de la courbe de charge sur une période de plusieurs semaines - pour les installations d'éclairage où la part de lumière du jour est importante, pendant la saison sombre et la saison claire.

Le tableau ci-dessous présente les méthodes de mesure utilisées dans les six études de cas.

Études de cas	Mesure instantanée		Mesure sur le long terme		
	Puissance d'exploitation	Niveaux d'éclairages	Courbe de charge électrique Puissance	Compteur d'énergie fixe	Enregistreur de données sur le niveau d'éclairage
1. Immeuble d'habitation «im Guss» à Bülach	x	x	x		
2. Immeuble d'habitation «Rütihof» à Zurich	x	x	x		
3. Centre hospitalier Bienne	x	x			x
4. Bâtiment industriel «SIG allCap» à Neuhausen		x		x	x
5. Établissement scolaire «Sennweid» à Baar		x	x		
6. Parking «Heuried» à Zurich		x	x		

Tableau 3 : Différentes méthodes de mesure dans 6 études de cas

### 3.2 Mesure de la puissance de fonctionnement

La mesure de la puissance électrique effective de fonctionnement d'un luminaire est effectuée à l'aide d'un wattmètre. Cette puissance peut différer de la puissance indiquée dans la fiche technique. Pour les luminaires à LED réglables, la puissance diminue de manière presque linéaire avec la gradation.

La mesure de la ligne de fonctionnement d'un luminaire n'est nécessaire que si elle ne peut pas être déduite de la mesure de la courbe de charge électrique. C'était le cas dans l'étude de cas du centre hospitalier de Bienne. Dans les deux lotissements, la puissance des luminaires a été mesurée en plus de la collecte des données de mesure.

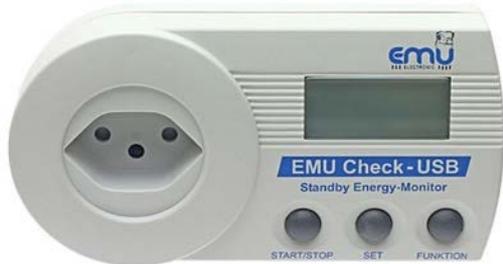


Figure 5 : Appareil de mesure de puissance pour appareils et luminaires enfichables

### 3.3 Mesure de l'éclairement

La mesure de l'éclairement instantané est effectuée à l'aide d'un luxmètre. Le positionnement correct de l'appareil et le fait d'éviter les ombres portées par des objets sont tout aussi importants que la précision de l'appareil de mesure utilisé. Cela vaut en particulier aussi pour la personne qui effectue les mesures.

Dans la plupart des cas, la mesure est effectuée au sol, l'appareil devant être orienté exactement à la verticale vers le haut. Dans les pièces avec des postes de travail, le luxmètre est positionné à hauteur de table (75 cm du sol).

L'éclairement instantané a été mesuré dans tous les projets à plusieurs endroits de la pièce à l'aide d'un appareil de mesure de précision de Minolta (CL-220A). La valeur moyenne peut être calculée à partir d'une dizaine de points de mesure régulièrement répartis.



Figure 6 : Appareil de mesure de l'éclairement de Minolta

### 3.4 Mesure de la courbe de charge de la puissance électrique

La meilleure méthode pour mesurer la consommation d'énergie d'une installation d'éclairage est d'installer un appareil mobile de mesure de la puissance et de l'énergie dans la sous-distribution électrique.

L'appareil de mesure avec enregistreur de données intégré est monté sur le départ de courant à mesurer pour l'éclairage. L'appareil mesure la puissance absorbée par l'éclairage pendant une période de mesure allant d'une à plusieurs semaines, avec un intervalle de temps réglable (entre 10 secondes et 5 minutes dans les études de cas). Les données de mesure sont stockées dans une mémoire (carte SD ou mémoire flash avec interface LAN) et sont lues à la fin de la mesure. Sur l'ordinateur, les données de mesure sont évaluées dans Excel et représentées sous forme de graphique.

L'appareil de mesure utilisé (Optec ECS M3PRO 80 MID) mesure trois départs électriques et présente une précision de classe B (+/- 1%).



Figure 7 : appareil mobile de mesure de la puissance et de l'énergie de la société Optec

### 3.5 Compteur d'énergie fixe

Il existe des cas où l'éclairage est alimenté en électricité de manière centralisée et où un compteur d'énergie spécifique est installé à cet effet. En règle générale, il s'agit de compteurs d'énergie privés qui peuvent être lus via un réseau central du bâtiment. L'exploitant s'intéresse généralement à la consommation d'énergie - et moins à l'évolution de la charge. C'est pourquoi les intervalles d'échantillonnage et de stockage sont plus longs que ceux des appareils de mesure mobiles. En revanche, les données sont disponibles sur de très longues périodes.



Figure 8 : Exemple de compteur d'énergie fixe avec interface

### 3.6 Enregistreur de données pour les niveaux d'éclairage

Dans les cas où il n'est pas possible de mesurer la charge électrique ou lorsque l'évaluation de la situation de la lumière du jour doit se faire sur une longue période, les données nécessaires à l'évaluation peuvent être saisies avec un simple enregistreur d'éclairage.

Un appareil simple, de la taille d'une boîte d'allumettes, alimenté par une petite pile, qui mesure l'éclairage à intervalles réglables et le stocke dans une mémoire interne, s'est avéré idéal. Le capteur Hobo, qui a été développé pour enregistrer la visibilité de l'eau dans la plongée, peut également être utilisé pour mesurer le niveau d'éclairage de la lumière artificielle et de la lumière du jour dans les pièces. La précision du capteur Hobo est faible, mais en se référant à une mesure instantanée et à un bon luxmètre, il est possible de générer des résultats de mesure très significatifs.

Le petit capteur Hobo est alimenté par une pile interne (type CR2032), la durée de vie de la pile peut atteindre un an. Avec un intervalle de mesure de 1 minute, l'intensité lumineuse peut être mesurée et enregistrée pendant 40 jours. La lecture des données sur l'ordinateur se fait via une interface USB.



Figure 9 : Enregistreur d'éclairage Hobo Onset UA-002-64

## 4 Études de cas

### 4.1 Étude de cas 1 : Immeuble d'habitation «Im Guss» à Bülach

#### Description du projet

Le lotissement 'Im Guss' comprend trois complexes résidentiels de sept étages chacun (plus deux sous-sols) avec un total de 490 appartements et se situe sur le site de l'ancienne fonderie Sulzer à Bülach. Il s'agit d'un nouveau lotissement conforme à la norme Minergie-Eco, qui a été achevé en 2019. L'architecture a été réalisée par le bureau Diener & Diener à Bâle, le maître d'ouvrage est l'entreprise générale Allreal de Zurich.

Un éclairage intelligent de la société Swisslux a été installé dès le début dans les cages d'escalier. Comme cette étude de cas n'est pas une situation avant-après, la comparaison entre l'éclairage en réglage d'usine (sans mise en réseau des luminaires et des capteurs) et l'éclairage avec un réglage optimisé et des luminaires à capteurs mis en réseau a été mesurée.

L'étude a porté sur deux grandes cages d'escalier, l'une avec éclairage naturel et l'autre sens. La comparaison entre la mesure de référence (installation conventionnelle avec détecteurs de présence) et l'éclairage optimisé (intensité lumineuse optimale et éclairage en essaim) donne une économie d'énergie de 8,5 MWh/a dans les deux cages d'escalier étudiées, d'une surface totale de 440 m<sup>2</sup>. Cela correspond à 85%, dont 52% sont dus à la détection et 33% à l'intensité lumineuse optimisée.

Les partenaires du projet étaient l'entreprise générale Allreal (maître d'ouvrage) et la société Swisslux (planification et livraison des luminaires à détecteur).



Figure 10 : Vue extérieure de l'ensemble d'habitation Im Guss, Bülach (photo : Stefan Gasser)

## Éclairage installé (nouvelle construction)

Désignation	Swisslux Aries IL1-R35-B mit Trivalite		
Puissance de fonctionnement	24.8 W	Capteur de présence	PIR intégré
Puissance en veille	0.88 W	Portée	10 m (tangential), 3 m (radial)
Flux lumineux max	2600 lm	Capteur lumière	Oui, avec gradation
Température de couleur	3000 K	Mise en réseau	ISM 868MHz
Efficacité lumineuse	105 lm/W	Paramétrage	Avec app mobile
Rendu des couleurs	> 85	Dimension	350 x 91 mm

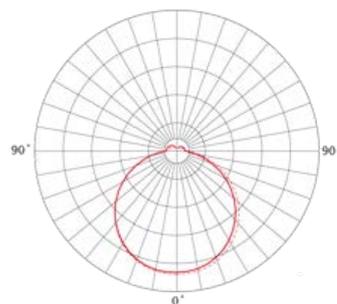


Figure 11 : Plafonnier Aries (vue et courbe de répartition de la lumière)

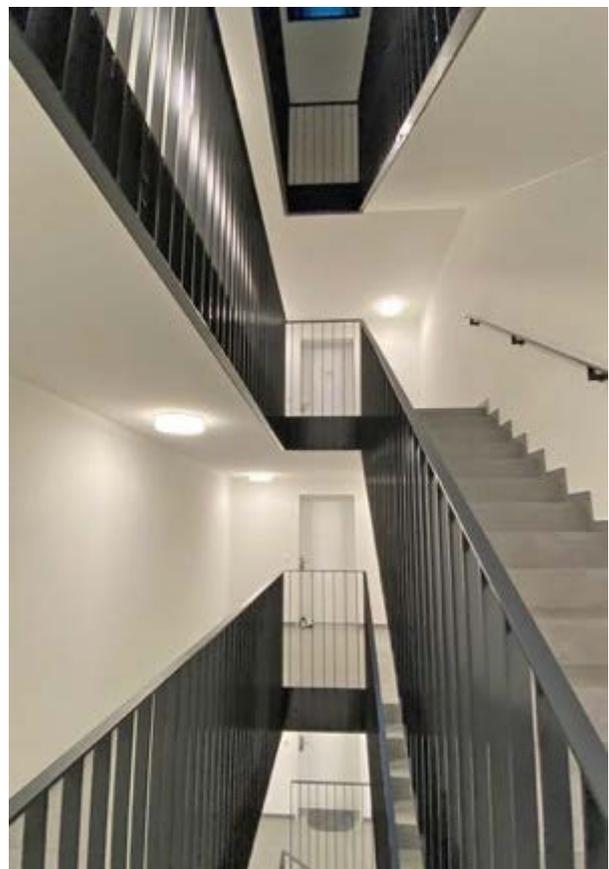


Figure 12 : Cages d'escalier avec et sans lumière du jour

## Mesures

Au printemps 2021, l'éclairage des deux cages d'escalier a d'abord été mesuré pendant deux semaines en mode de référence (voir ci-dessous), puis pendant deux semaines en mode optimisé. Un appareil mobile de mesure de l'énergie et de la puissance a permis d'enregistrer la puissance absorbée par l'éclairage à intervalles d'une minute. L'évaluation donne un bon résultat de la consommation d'énergie ou de l'économie entre l'éclairage de référence et l'éclairage optimisé.

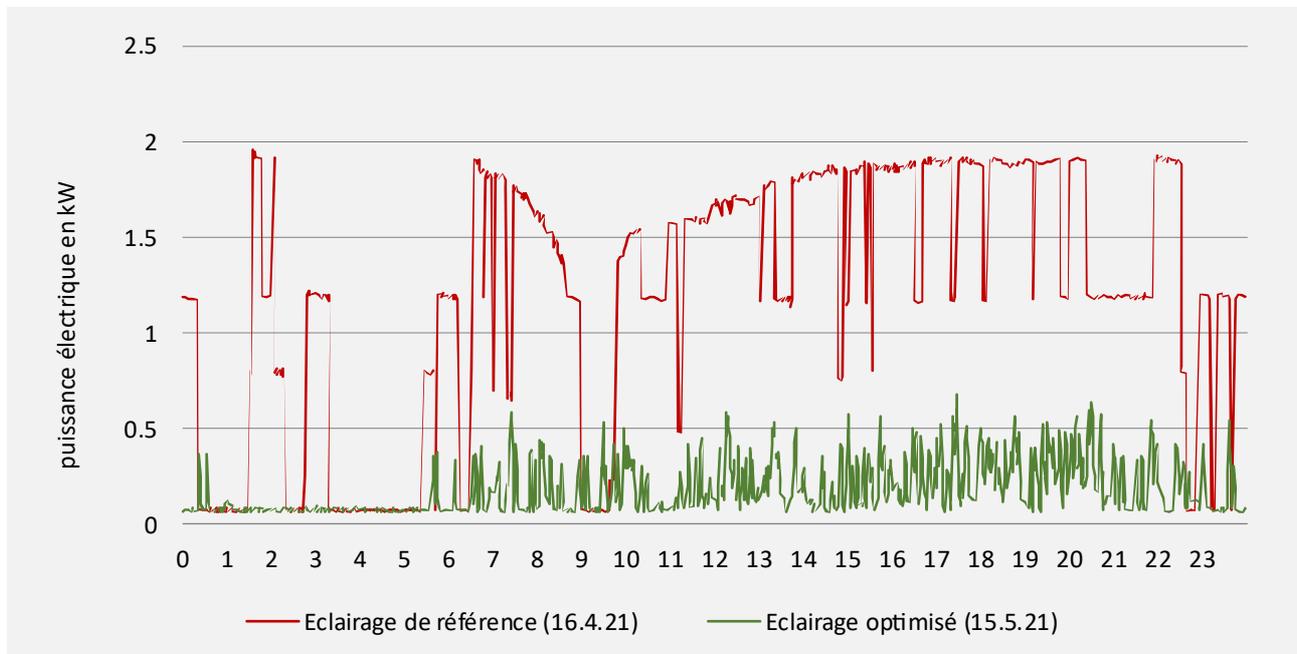


Figure 13 : Courbe journalière typique de la puissance dans le lotissement de la coulée, référence et nouvel éclairage

La figure montre la variation journalière de la puissance de l'éclairage de référence et de l'éclairage optimisé pendant deux jours comparables au printemps.

- L'éclairage de référence fonctionne avec le câble de raccordement nominal des luminaires et la régulation de présence. La régulation est regroupée pour l'ensemble de la cage d'escalier (les 6 étages) et fonctionne avec une temporisation (autrefois typique) de 15 minutes. La réduction de puissance entre 8 et 14 heures est bien visible. Celle-ci est due à la régulation de la lumière du jour dans la cage d'escalier partiellement vitrée et orientée vers l'est.
- Le nouvel éclairage, réglé de manière optimale, n'est allumé qu'à l'étage où il est effectivement utilisé, avec un délai de deux minutes.
- On reconnaît la puissance de veille de 7,2 watts, qui ne peut être évitée dans le cas d'une régulation intelligente de l'éclairage en réseau. Avec 0,016 W/m<sup>2</sup>, le niveau de veille est très faible.

## Bilan énergétique selon SIA 387/4:2017

	Unité	SIA Valeur limite	SIA Valeur cible	Valeur du projet Référence	Valeur du projet optimisé
Niveaux d'éclairage	Lux	100		300	150
Surface	m <sup>2</sup>	440			
Puissance	kW	1.54	1.01	2.16	1.18
	W/m <sup>2</sup>	3.5	2.3	4.9	2.7
Heures à pleine charge	h/a	4'147	1'895	4'653	1'302
Besoin en énergie	MWh/a	6.39	1.92	10.04	1.54
	kWh/m <sup>2</sup>	14.5	4.4	22.8	3.5
Économie					-85%

Tableau 4 : Bilan énergétique d'un ensemble résidentiel en fonte selon SIA 387/4.2017

Comparé aux valeurs caractéristiques de la norme SIA 387/4 (énergie électrique dans les bâtiments pour l'éclairage), l'état de référence était supérieur à la valeur limite SIA en raison d'un éclairage nettement trop élevé (22,8 kWh/m<sup>2</sup> pour 300 lux contre 14,5 kWh/m<sup>2</sup> pour 100 lux).

L'éclairage optimisé est toujours un peu trop éclairé ; l'indice énergétique est inférieur de 20% à la valeur cible SIA. (3,5 kWh/m<sup>2</sup> à 150 lux contre 4,4 kWh/m<sup>2</sup> à 100 lux).

Le 1er août 2023, une norme SIA révisée avec des exigences plus strictes est entrée en vigueur. Dans ce projet, la nouvelle valeur cible SIA est de 3.3 kWh/m<sup>2</sup>.

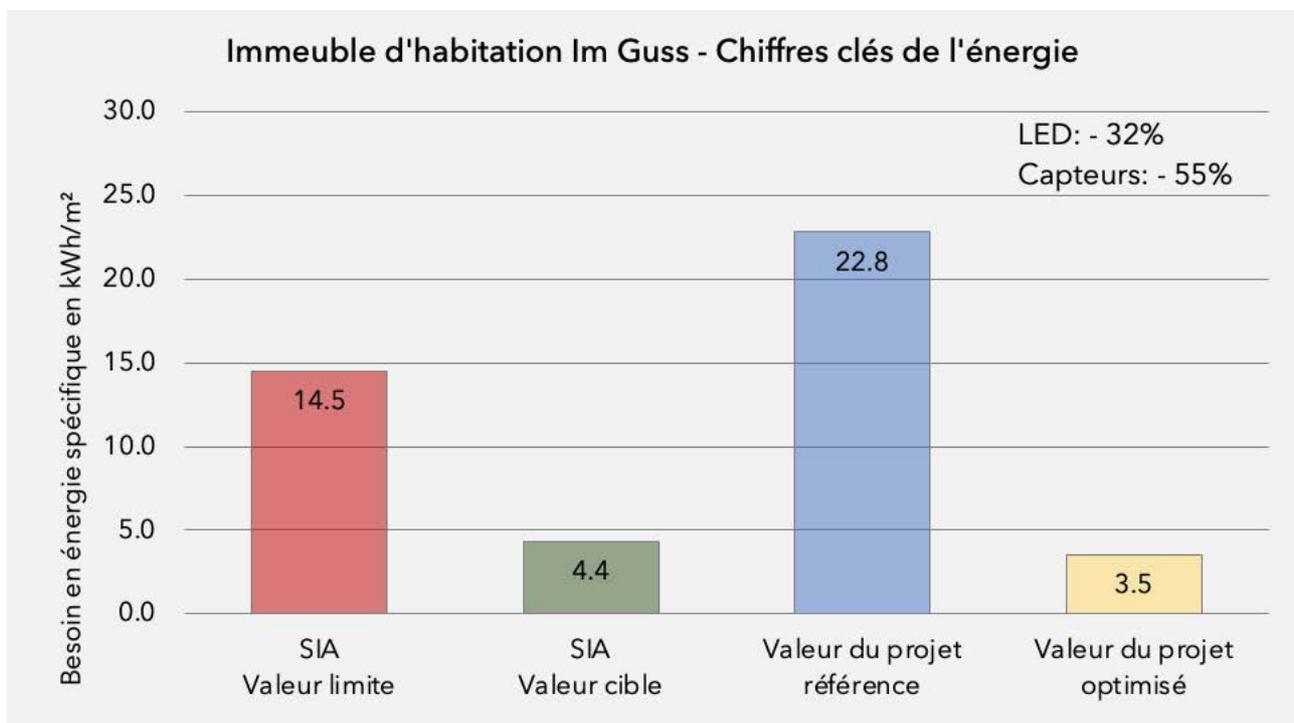


Figure 14 : Besoins énergétiques de l'ancien et du nouvel éclairage et comparaison avec les exigences SIA

## 4.2 Étude de cas 2 : Immeuble d'habitation «Rütihof» à Zurich

### Description du projet

Le lotissement 'Rütihof, Zurich' de la coopérative d'habitation ASIG comprend 17 immeubles d'habitation comparables avec un total de 131 unités d'habitation. Dans tous les bâtiments, les installations d'éclairage conventionnelles des surfaces communes (cages d'escalier, couloirs, caves) ont été remplacées ces dernières années par de nouveaux luminaires à LED intelligents.

L'ancien éclairage était principalement constitué de lampes fluorescentes compactes, de minuteries dans les pièces sans lumière du jour et d'un système d'éclairage crépusculaire en fonction de la saison. Le nouvel éclairage est constitué de luminaires à LED intelligents et interconnectés de la société Steinel, avec des capteurs intégrés pour la lumière du jour et la présence.

Le relevé des mesures de l'ancienne et de la nouvelle installation ont été réalisés dans l'un des 17 bâtiments (maison Rütihofstrasse 69). Les mesures d'énergie et de puissance effectuées pendant plusieurs périodes de mesure en été et en hiver ont permis de réaliser une économie d'énergie de 95 %. Sur ce total, 53 % sont imputables à la régulation de l'éclairage et 42 % aux nouveaux luminaires à LED plus efficaces. En extrapolant à l'ensemble des 17 maisons, on obtient une économie d'énergie annuelle de 26,7 MWh/an.

L'éclairement moyen du nouvel éclairage est d'environ 80 lux, alors qu'il était inférieur à 30 lux avec l'ancien éclairage. Outre l'économie d'énergie de 95 %, l'éclairement au sol a donc été multiplié par trois.

Les partenaires du projet étaient la coopérative d'habitation ASIG ainsi que les entreprises Nevalux (planification et mise en œuvre) et Steinel (fabricant des luminaires à détecteur).



Figure 15 : Vue extérieure du lotissement Rütihof, Zurich-Höngg (photo ASIG)

## Ancien éclairage

L'ancien éclairage des zones communes était principalement composé de lampes fluorescentes compactes et de quelques lampes à incandescence. La commutation était assurée par des minuteries dans les sous-sols et des interrupteurs à coupure dans les zones de lumière du jour situées en surface.

- Sous-sol : 6 plafonniers avec ampoules à incandescence de 40 watts, minuterie de 10 minutes.
- Cage d'escalier au sous-sol : 4 plafonniers à 2 x 7 watts chacun, lampes fluorescentes compactes, ballasts conventionnels (20 watts au total), minuterie sur 10 minutes.
- Escaliers et coursives du rez-de-chaussée au 3e étage : 12 plafonniers de 2 x 7 watts chacun, lampes fluorescentes compactes, ballasts conventionnels, interrupteur crépusculaire

La puissance totale installée était de 560 watts. La puissance de fonctionnement effective de chaque luminaire a été mesurée à l'aide d'un wattmètre.

L'éclairage en fonctionnement (sans lumière du jour) était en moyenne de 30 lux.

## Nouvel éclairage

Le nouvel éclairage a été uniformément équipé de lampes à détecteur de la société Steinel. Au total, 22 luminaires d'une puissance totale de 187 watts ont été installés.

L'éclairage en fonctionnement (sans lumière du jour) est en moyenne de 80 lux.

Désignation	RS PRO R10 plus SC	Luminosité principale	0 bis 100%
Puissance de fonc.	8.5 W	Fonction de veille	0 bis 100%
Puissance en veille	0.3 W	Démarrage progressif	Fading réglable
Flux lumineux max	992 lm	Mise en réseau	Bluetooth
Température de couleur	3000 K	Paramétrage	Avec app mobile
Détecteur de présence	HF, Gamme 10 m	Dimension	300 mm x 55 mm
Détecteur lumière	Oui, avec atténuation	Durée de vie	> 60'000 heures

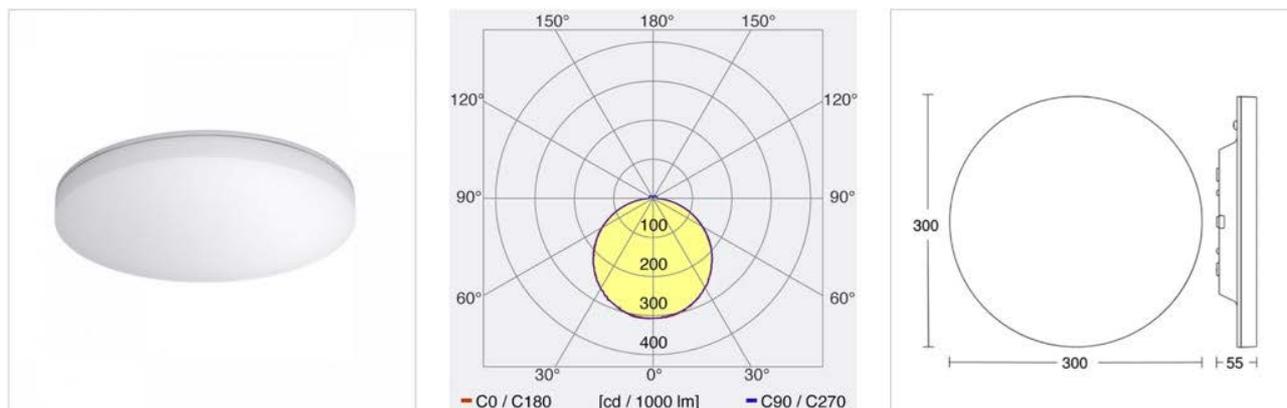


Figure 16 : Nouveau plafonnier et applique : vue, courbe de distribution lumineuse et dimensions

## Mesures

Pendant trois périodes de mesure (hiver et été) et 60 jours au total, la courbe de charge de la puissance électrique de l'ancien et du nouvel éclairage a été enregistrée à intervalles d'une minute à l'aide d'un appareil mobile de mesure de l'énergie et de la puissance. L'évaluation donne un résultat précis de la consommation d'énergie ou des économies réalisées entre l'ancien et le nouvel éclairage.

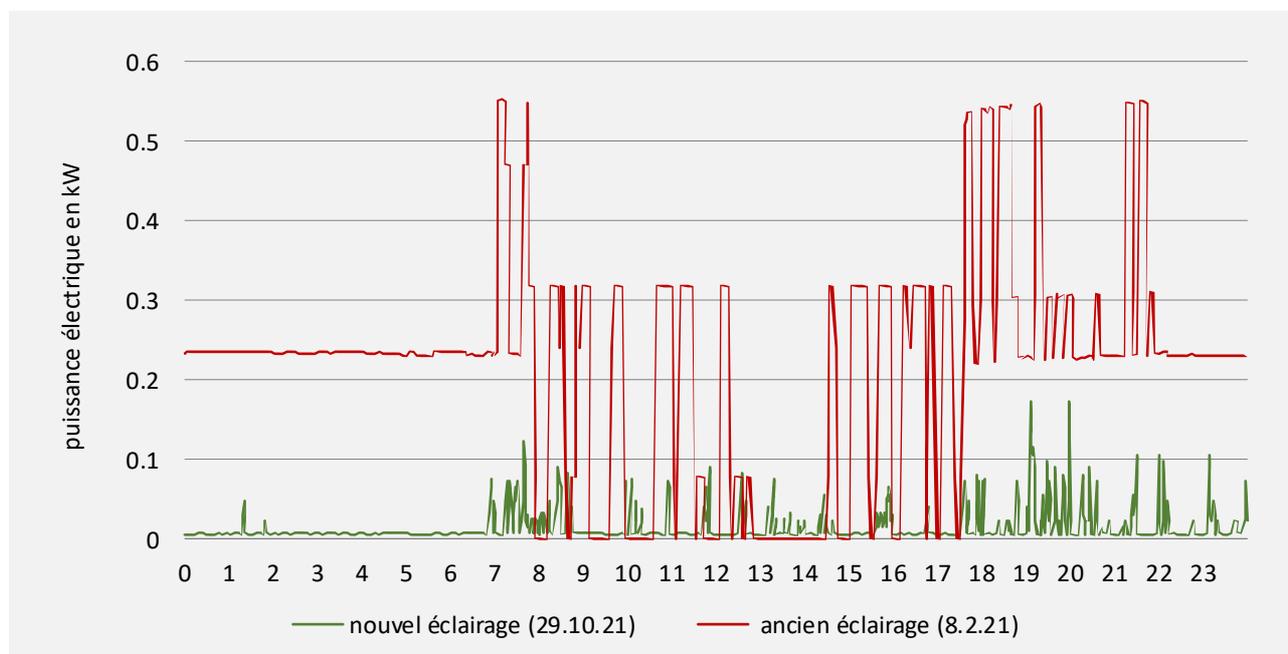


Figure 17 : Courbe journalière typique de la puissance du lotissement Rütihof, ancien et nouvel éclairage

La figure montre la variation journalière de la puissance de l'ancien et du nouvel éclairage sur deux jours comparables pendant la saison sombre.

- Pour l'ancien éclairage, on peut voir l'éclairage permanent de la cage d'escalier et des coursives pendant la nuit ainsi que l'éclairage commandé par minuterie dans la cave (temps de poursuite : 5 minutes). Les courbes de charge des différents jours ne diffèrent que très peu, en été l'éclairage de nuit est plus court (commutation crépusculaire).
- Le nouvel éclairage n'est allumé qu'en cas de besoin, pendant environ une minute, et uniquement là où la lumière est utilisée de manière efficace. Aussi bien dans les cages d'escalier que dans les coursives et au sous-sol. Même avec le nouvel éclairage, les courbes de charge des différents jours mesurés ne diffèrent que très peu.
- Le nouvel éclairage se caractérise par une puissance en veille de 6,6 watts, ce qui est inévitable dans le cadre d'une régulation intelligente de l'éclairage en réseau. Avec 0,033 W/m<sup>2</sup>, la consommation en mode veille est très faible.

## Bilan énergétique selon SIA 387/4:2017

	Unité	SIA Valeur limite	SIA Valeur cible	Valeur du projet référence	Valeur du projet optimisé
Niveaux d'éclairage	Lux	100		30	80
Surface	m <sup>2</sup>	201			
Puissance	kW	0.70	0.46	0.56	0.2
	W/m <sup>2</sup>	3.5	2.3	2.8	1.0
Heures à pleine charge	h/a	3'760	1'405	3'018	520
Besoin en énergie	MWh/a	2.65	0.65	1.7	0.1
	kWh/m <sup>2</sup>	13.2	3.2	8.4	0.5
Économie					-94%

Tableau 5 : Bilan énergétique du lotissement Rütihof selon SIA 387/4:2017

Comparé aux valeurs caractéristiques de la norme SIA 387/4 (énergie électrique dans les bâtiments pour l'éclairage), l'ancien état était déjà en dessous de la valeur limite, mais avec un éclairage nettement trop faible. (12,1 kWh/m<sup>2</sup> pour 30 lux contre 8,4 kWh/m<sup>2</sup> pour 100 lux).

Le nouvel éclairage est tout juste conforme à la norme ; l'indice énergétique est de 84% inférieur à la valeur cible SIA, ce qui s'explique par le fait que la norme SIA ne tenait pas encore compte des possibilités offertes par l'éclairage intelligent au moment de l'étude. (0,5 kWh/m<sup>2</sup> pour 80 lux contre 3,2 kWh/m<sup>2</sup> pour 100 lux).

Le 1er août 2023, une norme SIA révisée avec des exigences plus strictes est entrée en vigueur. Dans ce projet, la nouvelle valeur cible SIA est de 2,5 kWh/m<sup>2</sup>.

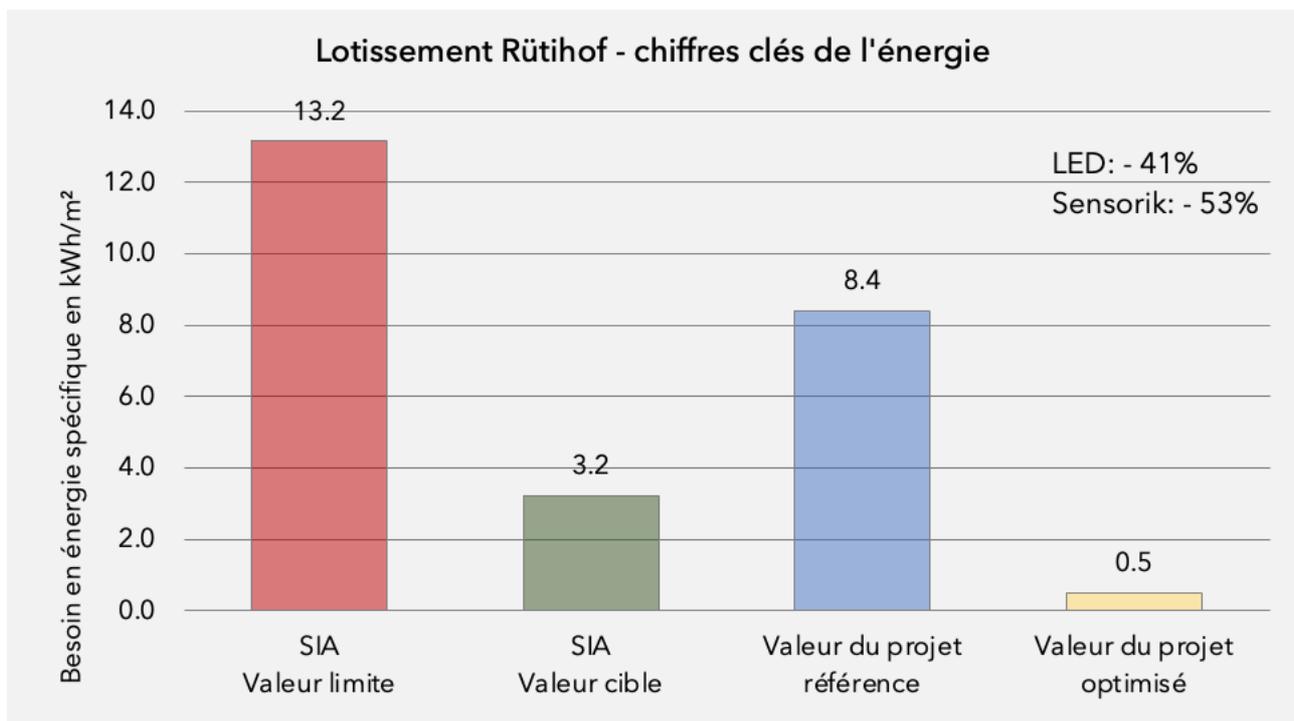


Figure 18 : Besoins énergétiques de l'ancien et du nouvel éclairage et comparaison avec les exigences SIA

### 4.3 Étude de cas 3 : Centre hospitalier de Bienne

#### Description du projet

Le Centre hospitalier Bienne a été construit en 1978. Une rénovation complète est actuellement en cours de planification. L'hôpital dispose de 237 lits et emploie environ 1700 collaboratrices et collaborateurs.

L'éclairage des couloirs a été progressivement remplacé par des Downlights à lampes fluorescentes compactes et des panneaux à LED. Pour l'analyse de l'éclairage intelligent, on a utilisé un couloir d'hôpital au premier sous-sol (sans lumière du jour) avec des salles d'opération et de préparation adjacentes.

Alors que l'ancien éclairage fonctionnait en continu 24 heures sur 24, le nouvel éclairage est composé de petits groupes de deux à quatre luminaires, chacun étant commandé par un détecteur de présence individuel. La temporisation des détecteurs de présence a été réglée sur 10 secondes. Comme l'utilisation quotidienne est pratiquement inchangée et qu'il n'y a pas d'influence saisonnière, une période d'enregistrement de deux semaines a suffi pour obtenir une mesure pertinente.

Pour déterminer la consommation d'énergie, les allumages et les extinctions ont été enregistrés et les performances de fonctionnement des anciens et des nouveaux luminaires ont été mesurées. Il en résulte une économie d'énergie de 82 %, dont 44 % sont imputables à la régulation de l'éclairage et 38 % aux nouveaux luminaires à LED plus efficaces. L'intensité de l'éclairage est passée de 40 à 250 lux.

Les partenaires du projet étaient le Centre hospitalier de Bienne et la société Theben-HTS (planification et livraison des capteurs). Les luminaires proviennent de Ledvance.



Figure 19 : Vue extérieure du Centre hospitalier Bienne (Photo : Stefan Gasser)

## Ancien éclairage

55 Downlights avec lampes fluorescentes compactes 13 watts, BE

## Nouvel éclairage

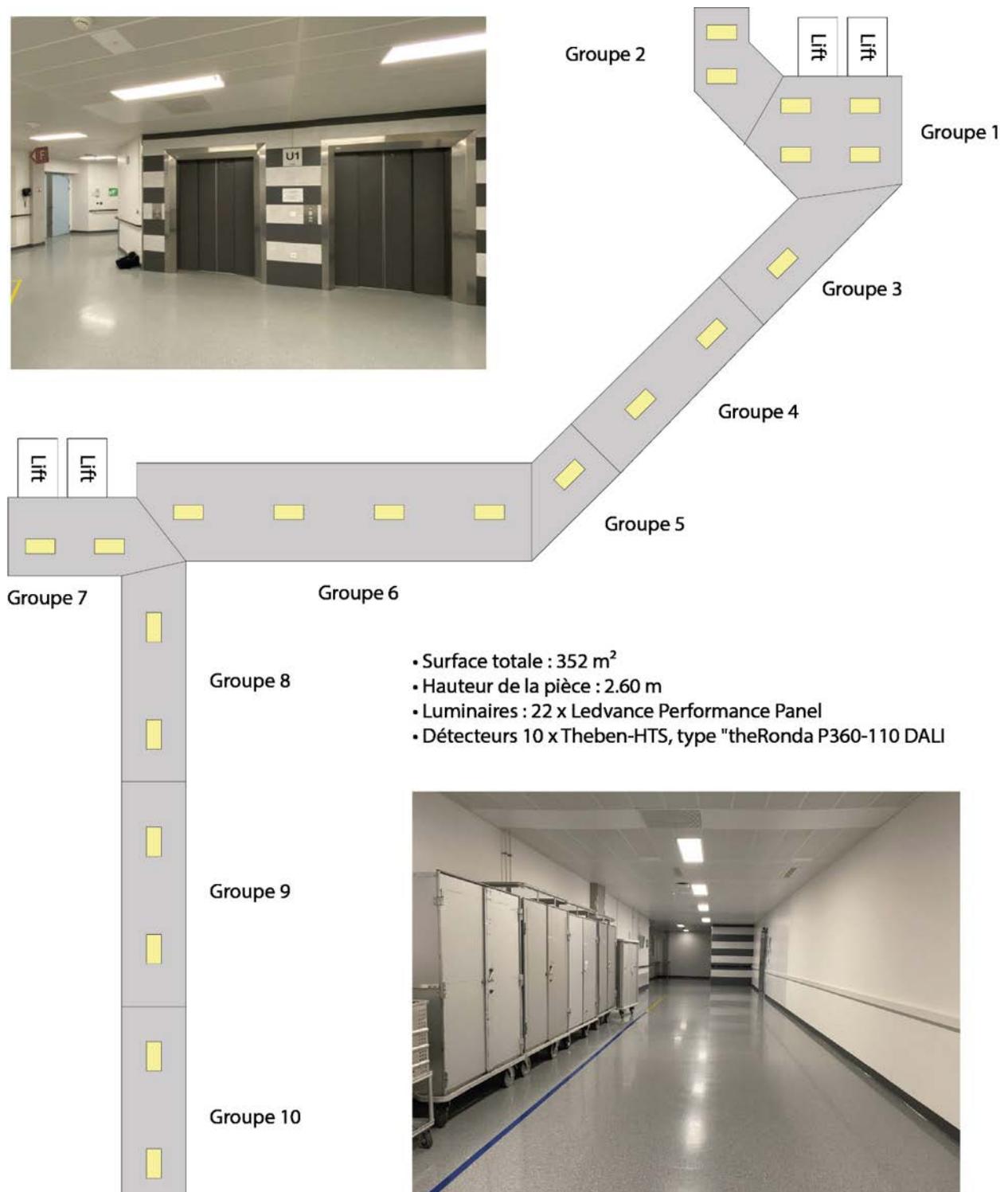


Figure 20 : nouvel éclairage de couloir avec 10 groupes de luminaires

## Mesures

Comme l'ancien éclairage fonctionnait en continu 24 heures sur 24, la courbe de charge n'a dû être déterminée que pour le nouvel éclairage. Pendant environ deux semaines, les allumages et les extinctions ont été enregistrés par des mesures continues de l'intensité lumineuse à des intervalles de 10 secondes. De plus, les puissances consommées des anciens et des nouveaux luminaires ont été mesurées. L'évolution de la charge de la puissance et la consommation d'énergie ont ainsi pu être déduites avec précision.

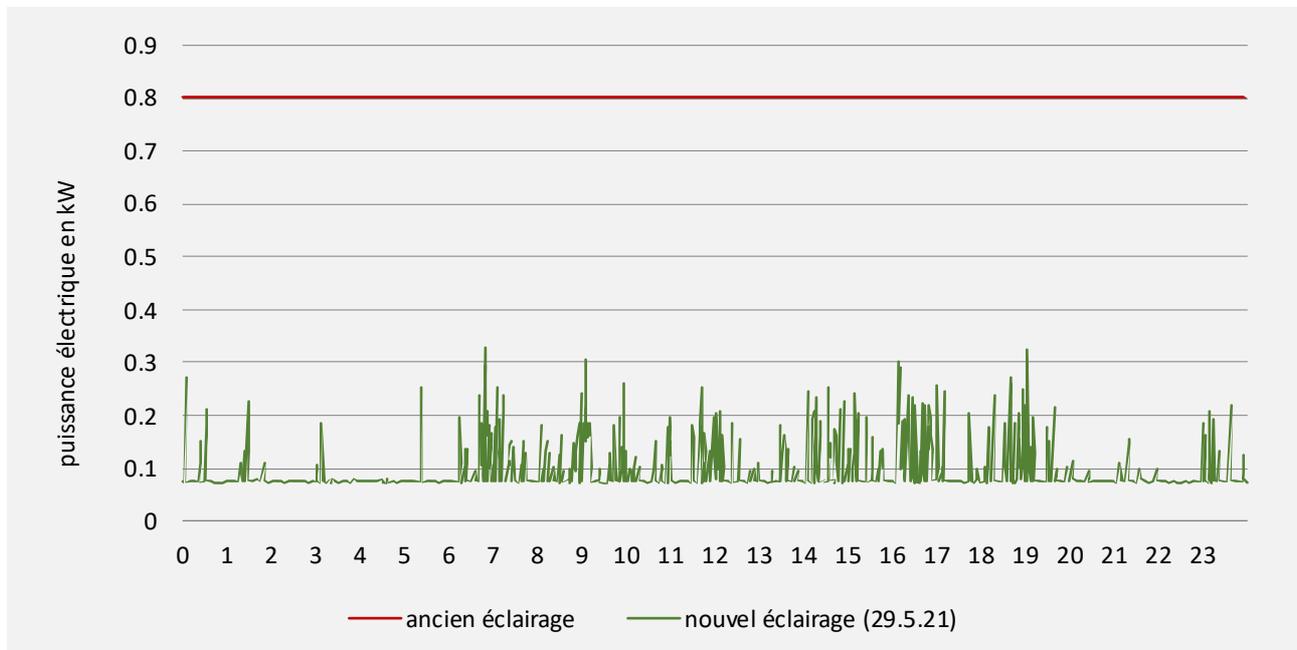


Figure 21 : Évolution journalière typique de la puissance au Centre hospitalier Bienne, ancien et nouvel éclairage

L'illustration montre la variation journalière de la puissance de l'ancien et du nouvel éclairage sur deux jours comparables.

- L'ancien éclairage était équipé de Downlights (13 watts, lampes fluocompactes et ballast électronique). La puissance de fonctionnement mesurée était de 14,6 watts. Les 55 luminaires consommaient constamment 803 watts.
- Le nouvel éclairage est composé de panneaux LED avec une puissance connectée mesurée de 33 watts. Les 22 luminaires sont limités à 50% de la puissance maximale et consomment au total 367 watts en plein éclairage (50% de la puissance connectée). Grâce au temps d'extinction très court de 10 secondes et à la subdivision en 10 groupes, les luminaires ne sont allumés qu'en quelques instants à 50% de la lumière totale. Pour des raisons de sécurité, un éclairage d'orientation est activé. La puissance minimale est de 10% de la puissance connectée (73 watts).
- La puissance de veille des dix détecteurs est de 4 watts au total. Celle-ci n'est pas perceptible sur le graphique, car les luminaires sont toujours en service (pleine lumière 50% ou peu de lumière 10%).

## Bilan énergétique selon SIA 387/4:2017

	Unité	SIA Valeur limite	SIA Valeur cible	Valeur du projet référence	Valeur du projet optimisé
Niveaux d'éclairage	Lux	200		40	250
Surface	m <sup>2</sup>	352			
Puissance	kW	2.50	1.62	0.8	0.37
	W/m <sup>2</sup>	7.1	4.6	2.3	1.1
Heures à pleine charge	h/a	4'380	2'190	8'760	3'331
Besoin en énergie	MWh/a	10.95	3.55	7.0	1.2
	kWh/m <sup>2</sup>	31.1	10.1	19.9	3.5
Économie					-82%

Tableau 6 : Bilan énergétique du Centre hospitalier Bienne selon SIA 387/4:2017

Comparé aux valeurs caractéristiques de la norme SIA 387/4 (énergie électrique dans les bâtiments pour l'éclairage), l'ancien état était déjà en dessous de la valeur limite, mais avec un éclairage nettement trop faible. (40 lux au lieu de la valeur normalisée de 200 lux).

Le nouvel éclairage répond aux exigences normatives. L'indice énergétique est de 33% inférieur à la valeur cible SIA, ce qui s'explique par le fait qu'au moment de l'étude, la norme SIA ne tenait pas encore compte des possibilités offertes par l'éclairage intelligent.

Le 1er août 2023, une norme SIA révisée avec des exigences plus strictes est entrée en vigueur. La nouvelle valeur cible SIA pour cette utilisation est de 3,2 kWh/m<sup>2</sup>.

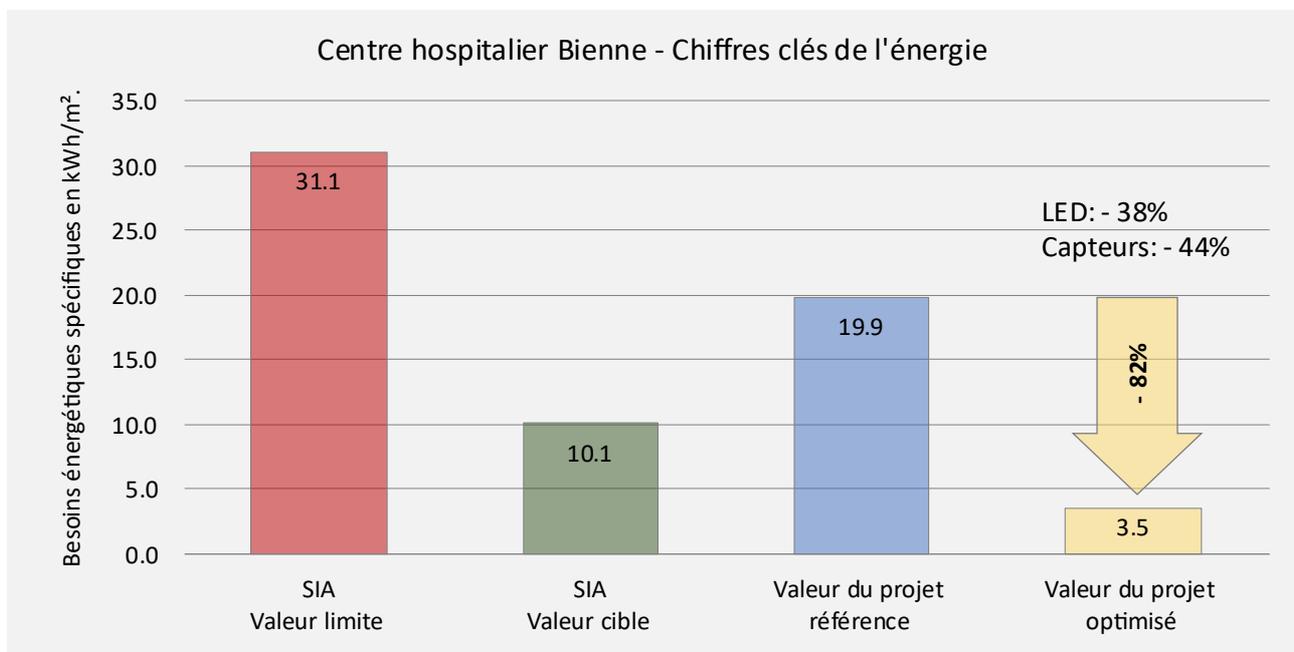


Figure 22 : Besoins énergétiques de l'ancien et du nouvel éclairage et comparaison avec les exigences SIA

## 4.4 Étude de cas 4 : Bâtiment industriel «SIG allCap» à Neuhausen

### Description du projet

Dans les deux halls industriels de SIG allCap à Neuhausen près des chutes du Rhin, on produit des couvercles en plastique pour les récipients de boissons (par ex. lait en emballage carton). En 2016, ce sont environ 7 500 millions de pièces qui ont été fabriquées par les machines à injection dans les deux halles d'une surface totale de 6 500 m<sup>2</sup>.

L'ancien éclairage, composé de réglottes et de tubes fluorescents, a été remplacé il y a quelques années par de nouveaux luminaires à LED. Comme les halles bénéficient de beaucoup de lumière du jour grâce aux toits en sheds, une commande de la lumière du jour a été installée, mais elle n'a pas été mise en service dans un premier temps pour des raisons de sécurité.

Ce n'est qu'après avoir vérifié la situation de la lumière du jour dans le cadre de cette étude de cas que le maître d'ouvrage a été convaincu que la commande de la lumière du jour pouvait être mise en service.

L'analyse technique de mesure a porté sur les économies de consommation d'énergie pour l'éclairage avec et sans capteur de lumière du jour. Le remplacement des luminaires n'a pas été pris en compte. La puissance installée n'a pu être réduite que d'environ 10% entre l'ancien et le nouvel état, car l'intensité lumineuse était trop faible avant le remplacement et a dû être augmentée.

L'économie d'énergie réalisée grâce aux capteurs de lumière du jour s'élève à 23% sur l'ensemble de la journée dans les deux halls fonctionnant en trois équipes. Si l'on considère uniquement la période d'utilisation possible de la lumière du jour, on obtient une économie de 55%. Cette valeur est une bonne mesure pour des halls similaires fonctionnant en journée normale.

Les partenaires du projet étaient la société Reasco Immobilien AG et la société Zumtobel (planning, fourniture de luminaires et de capteurs).



Figure 23 : Vue intérieure du hall industriel SIG AllCap, Neuhausen am Rheinfall (photo : Zumtobel)

### Ancien éclairage

L'éclairage d'origine était constitué de bandes lumineuses avec des tubes FL à 2 ampoules. Un éclairement d'environ 300 lux a été atteint sur les postes de travail. Cela n'était pas suffisant pour travailler sur des machines de haute précision.

### Nouvel éclairage

Le niveau d'éclairage a été porté à 500 lux dans le cadre du passage aux rangées de LED. Avec une efficacité lumineuse de 139 lm/W, les nouveaux luminaires à LED sont environ 50% plus efficaces que les anciens. En raison de l'augmentation de l'éclairement, l'économie d'énergie absolue réalisée grâce aux nouveaux luminaires est toutefois faible, de l'ordre de 10 %.

Outre le remplacement des luminaires, un système de commande en fonction de la lumière du jour a été installé. Le toit du bâtiment est équipé d'un capteur de lumière du jour spécial qui mesure et enregistre en permanence l'ensoleillement direct et diffus dans toutes les directions et transmet les données de mesure au système de commande central de l'éclairage. En fonction de la lumière du jour disponible, l'éclairage du hall est réduit ou complètement éteint.

- Luminaires : Zumtobel Tecton C, 114 W et 75 W
- Détecteur sur toiture : Zumtobel capteur extérieur LM-TLM
- Commande et mise en réseau : Luxmate de Zumtobel



Figure 24 : Nouvelles rampes lumineuses à LED et capteur de lumière du jour sur le toit, source : Zumtobel Licht AG

Après la mise en service, l'éclairage fonctionnait 24 heures sur 24 à sa puissance nominale malgré la lumière du jour, même avec la nouvelle solution d'éclairage. La technique de détection fonctionnait certes parfaitement, mais un certain scepticisme régnait à l'égard du système. La crainte d'une interruption de la production du parc de machines en raison d'une sous-exposition accidentelle dans la pièce a conduit à ne pas mettre en service le système de gestion de la lumière du jour dans un premier temps.

La direction de l'entreprise a donc dû d'abord faire confiance à la technique des capteurs. Un contrôle des facteurs a permis de prouver la présence suffisante de lumière du jour. La commande de la lumière du jour a été mise en service et optimisée en deux étapes.

## Mesures

La puissance électrique et la consommation d'énergie de l'éclairage ont été mesurées et enregistrées à l'aide d'un compteur fixe. Les données de mesure ont pu être lues et analysées. L'installation d'un compteur mobile n'était pas nécessaire dans ce projet.

Outre les mesures d'énergie et de puissance, les niveaux d'éclairage ont été enregistrés en continu en six points dans les deux halls industriels pendant 40 jours au printemps 2022. De cette manière, il a été possible de prouver la présence d'une lumière du jour suffisante et de convaincre l'exploitant de mettre en service le système de gestion de la lumière du jour.

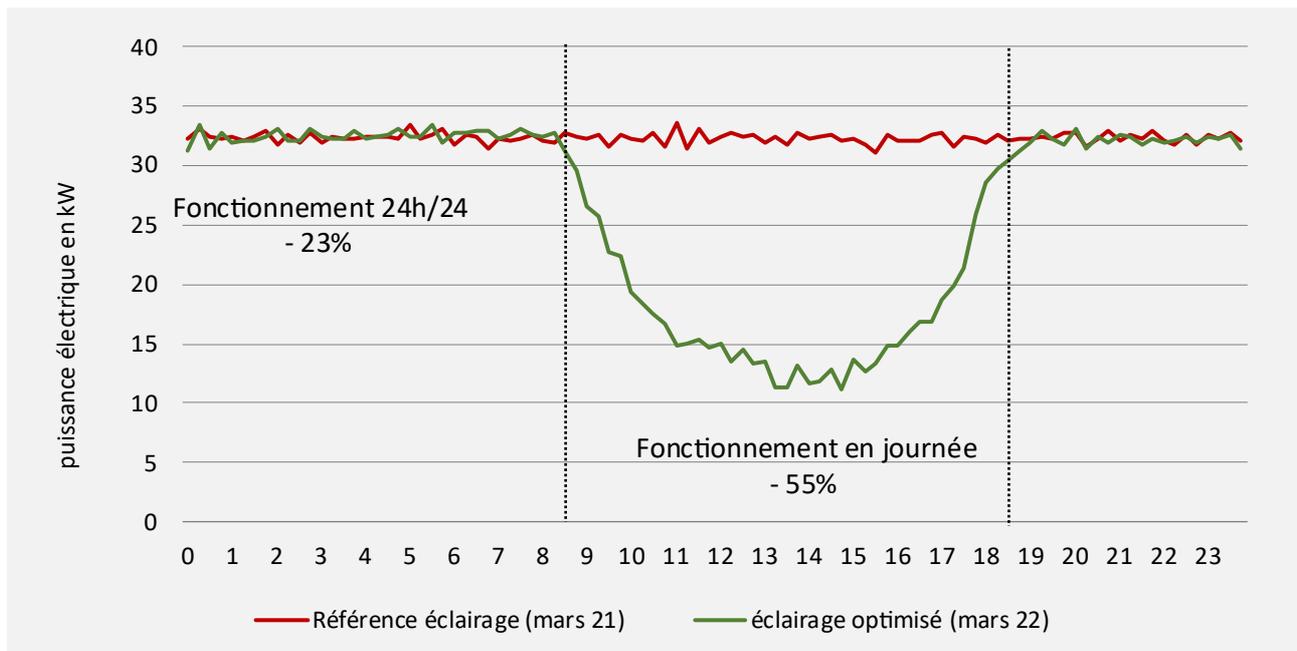


Figure 25 : Courbe journalière typique de la performance de la halle industrielle SIG, éclairage avec et sans capteurs de lumière du jour

La figure montre la variation journalière de la puissance du nouvel éclairage avec et sans capteur de lumière du jour pendant deux jours comparables au printemps 2021 et 2022.

- Dans l'exploitation précédente, les nouveaux luminaires à LED fonctionnaient sans commande de la lumière du jour. La puissance absorbée s'élève à près de 33 kW 24 heures sur 24.
- Après la mise en service de la commande lumière du jour, la puissance absorbée de l'éclairage diminue pendant la journée jusqu'à un tiers de la puissance connectée.
- D'après les mesures d'éclairage, l'éclairage aurait pu être complètement éteint par moments en plein soleil. Cependant, comme toutes les zones des halls industriels ne bénéficient pas d'une lumière du jour suffisante et qu'il n'existe qu'un seul système central de mesure de la lumière du jour, il a été décidé de ne pas éteindre complètement l'éclairage artificiel.

## Bilan énergétique selon SIA 387/4:2017

	Unité	SIA Valeur limite	SIA Valeur cible	Valeur du projet référence	Valeur du projet optimisé
Niveaux d'éclairage	Lux	500		Nuit: 400, Journée > 1000	
Surface	m <sup>2</sup>	6'598			
Puissance	kW	76.5	49.5	32.9	32.9
	W/m <sup>2</sup>	11.6	7.5	5.0	5.0
Heures à pleine charge	h/a	7'676	6'668	8'760	6'721
Besoin en énergie	MWh/a	587.5	330.0	288.0	221.0
	kWh/m <sup>2</sup>	89.0	50.0	43.7	33.5
Économie					-23%

Tableau 7 : Bilan énergétique SIG allCap selon SIA 387/4:2017

Comparée aux valeurs caractéristiques de la norme SIA 387/4 (énergie électrique dans les bâtiments pour l'éclairage), la consommation d'énergie sans commande de l'éclairage était légèrement inférieure à la valeur limite SIA.

L'éclairage optimisé par des capteurs de lumière du jour réduit la consommation totale d'électricité pour l'éclairage de 23% par rapport à la valeur cible SIA. Comme le travail en trois équipes nécessite un éclairage 24 heures sur 24, l'économie semble faible à première vue. Mais par rapport à un fonctionnement quotidien normal, la gestion de la lumière du jour permet de réaliser une économie de 55%.

Le 1er août 2023, une norme SIA révisée avec des exigences plus strictes est entrée en vigueur. La nouvelle valeur cible SIA est de 15,7 kWh/m<sup>2</sup> pour cette utilisation.

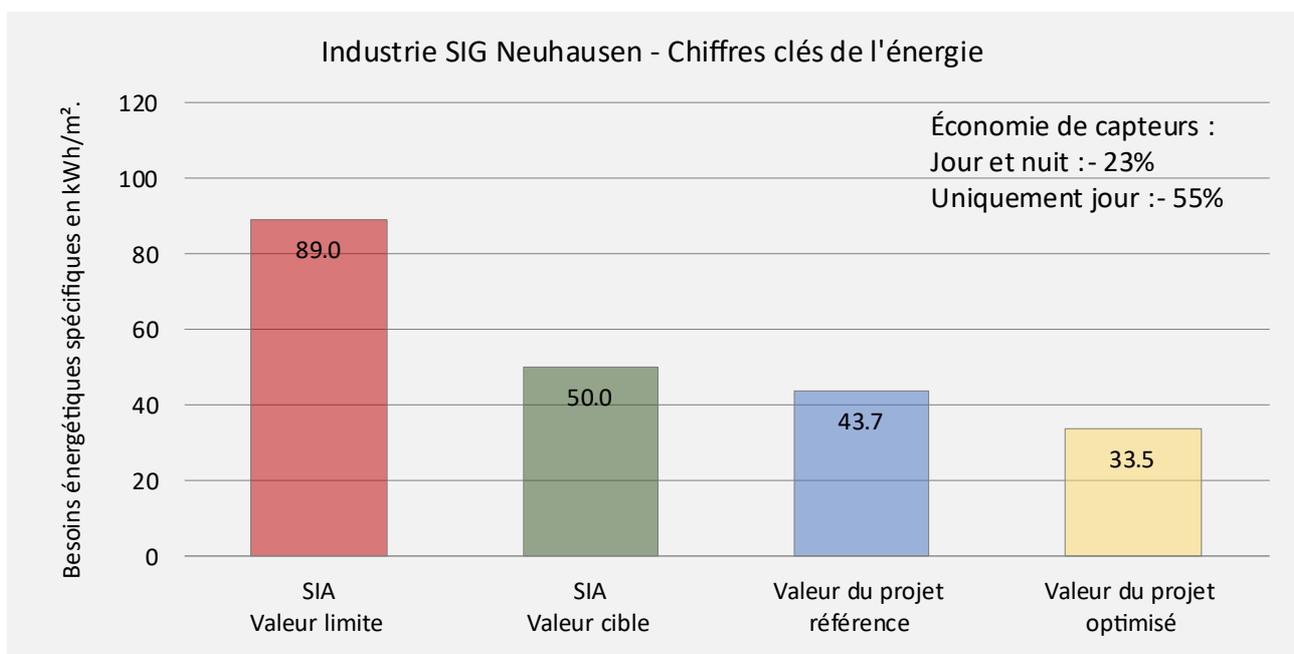


Figure 26 : Besoins énergétiques de l'ancien et du nouvel éclairage et comparaison avec les exigences SIA

## 4.5 Étude de cas 5 : école 'Sennweid' à Baar

### Description du projet

L'école secondaire de 3 étages à Baar a une surface au sol d'environ 2000 m<sup>2</sup> et peut accueillir environ 350 élèves. Le bâtiment a été construit en 2002. Après 20 ans, l'éclairage des salles de classe est remplacé par étapes par des luminaires LED avec intelligence intégrée.

L'ancien éclairage se composait de luminaires suspendus équipés de tubes fluorescents T5 et d'une commande externe de la lumière du jour. Pour le nouvel éclairage, on a également utilisé des luminaires suspendus ; les luminaires à LED sont équipés de capteurs de présence et de lumière du jour intégrés et peuvent être réglés via une application pour téléphone portable.

Pour le contrôle technique de l'ancienne et de la nouvelle installation, des mesures d'énergie et de puissance ont été effectuées dans deux salles de classe pendant 137 jours. L'économie d'énergie est de 58%, dont 2/3 sont dus aux capteurs et 1/3 à la technique d'éclairage plus efficace.

L'éclairage moyen du nouvel éclairage est de 590 lux et dépasse de 100 lux la valeur de l'éclairage précédent (490 lux).

L'effort de mesure dans cet objet a été très important, car l'influence des élèves et des enseignants d'une part et l'influence des différentes situations de lumière du jour d'autre part ont rendu difficile une analyse pertinente des données.

Les partenaires du projet étaient la commune scolaire de Baar ainsi que les entreprises Nevalux (planification) et Steinel (livraison des lampes à détecteur).



Figure 27 : Vue extérieure de l'école Sennweid, Baar (photo : archetage ag)

### Ancien éclairage

L'ancien éclairage des salles de classe était équipé de 9 luminaires suspendus à éclairage direct (type Ribag Spina 80 watts T5 avec réflecteur parabolique). La commande se faisait par régulation de la lumière du jour (Lux-mate), sans détecteur de présence. Par ailleurs, deux luminaires (24 watts) ont été installés pour l'éclairage des tableaux.



Figure 28 : Ancien éclairage dans la salle de classe de l'école Sennweid, Baar

### Nouvel éclairage

Le nouvel éclairage des salles de classe est équipé de 6 luminaires suspendus à distribution directe-indirecte (type Nevalux Elani). La régulation intelligente de l'éclairage est intégrée dans chaque luminaire, y compris un capteur de CO<sub>2</sub> pour mesurer la qualité de l'air. En complément, deux luminaires (38 watts) sont installés pour l'éclairage du tableau mural.



Figure 29 : Nouvel éclairage dans la salle de classe de l'école Sennweid, Baar

## Mesures

Pendant trois périodes de mesure (printemps, été, automne) et un total de 137 jours, la courbe de charge de la puissance électrique de l'ancien et du nouvel éclairage a été enregistrée avec un appareil mobile de mesure de l'énergie et de la puissance à intervalles d'une minute. Pour l'évaluation, 37 jours d'école avec les mêmes conditions d'utilisation et de climat ont été choisis. Il en résulte un bon résultat en termes de consommation d'énergie ou d'économie entre l'ancien et le nouvel éclairage.

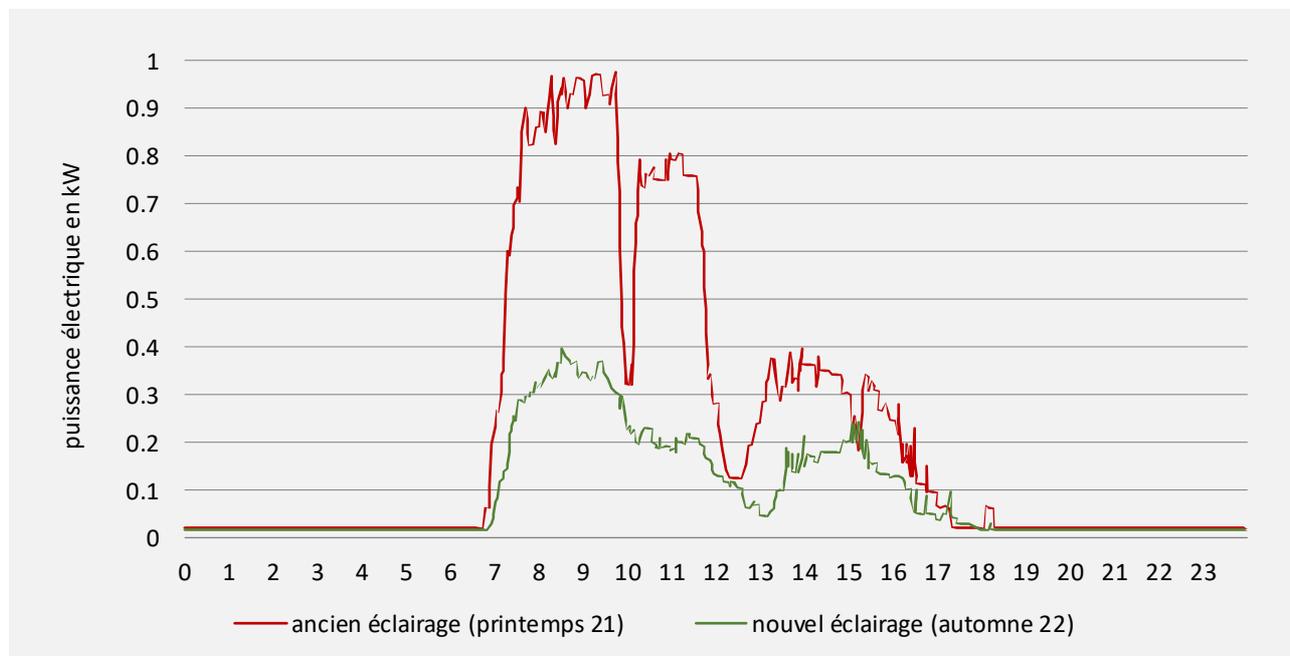


Figure 30 : Évolution journalière moyenne de la puissance de l'école de Sennweid, ancien et nouvel éclairage (32 jours d'école chacun)

La figure montre la variation journalière de la puissance de l'ancien et du nouvel éclairage sur deux jours comparables pendant la saison sombre.

- L'ancien éclairage fluorescent, vieux de 20 ans, était équipé d'un système de régulation de la lumière du jour. L'évolution de la puissance (moyenne sur 32 jours d'école) montre les caractéristiques typiques de ce système : maximum pendant les heures du matin, la pause de 10 heures, le midi et une augmentation moins marquée de la consommation de l'éclairage l'après-midi.
- Le nouvel éclairage présente un profil similaire, la consommation d'énergie est en moyenne 58% inférieure à celle de l'ancien éclairage.
- L'ancien et le nouvel éclairage présentent tous deux une puissance de 16 watts en mode veille, ce qui ne peut être évité dans le cas d'une régulation de l'éclairage avec mise en réseau des luminaires. Avec  $0,05 \text{ W/m}^2$ , le niveau de veille est très faible.

## Bilan énergétique selon SIA 387/4:2017

	Unité	SIA Valeur limite	SIA Valeur cible	Valeur du projet référence	Valeur du projet optimisé
Niveaux d'éclairage	Lux	500		490	590
Surface	m <sup>2</sup>	160			
Puissance	kW	1.76	1.15	1.71	1.33
	W/m <sup>2</sup>	11.0	7.2	10.7	8.3
Heures à pleine charge	h/a	1'312	464	723	387
Besoin en énergie	MWh/a	2.31	0.53	1.24	0.52
	kWh/m <sup>2</sup>	14.4	3.3	7.8	3.2
Économie					-58%

Tableau 8 : Bilan énergétique de l'école Sennweid selon SIA 387/4:2017

Comparé aux valeurs caractéristiques de la norme SIA 387/4 (énergie électrique dans les bâtiments pour l'éclairage), l'ancien état se situait à peu près au niveau de l'exigence Minergie (valeur moyenne entre la valeur limite SIA et la valeur cible). L'éclairage d'origine correspondait au meilleur état de la technique lors de la construction du bâtiment en 2002.

Le nouvel éclairage avec des luminaires LED intelligents réduit la consommation de 58% et se situe donc en dessous de la valeur cible de la norme SIA 387/4 (édition 2017).

Le 1er août 2023, la norme SIA révisée est entrée en vigueur avec des exigences plus strictes. La nouvelle valeur cible SIA est de 1,8 kWh/m<sup>2</sup> pour cette utilisation.

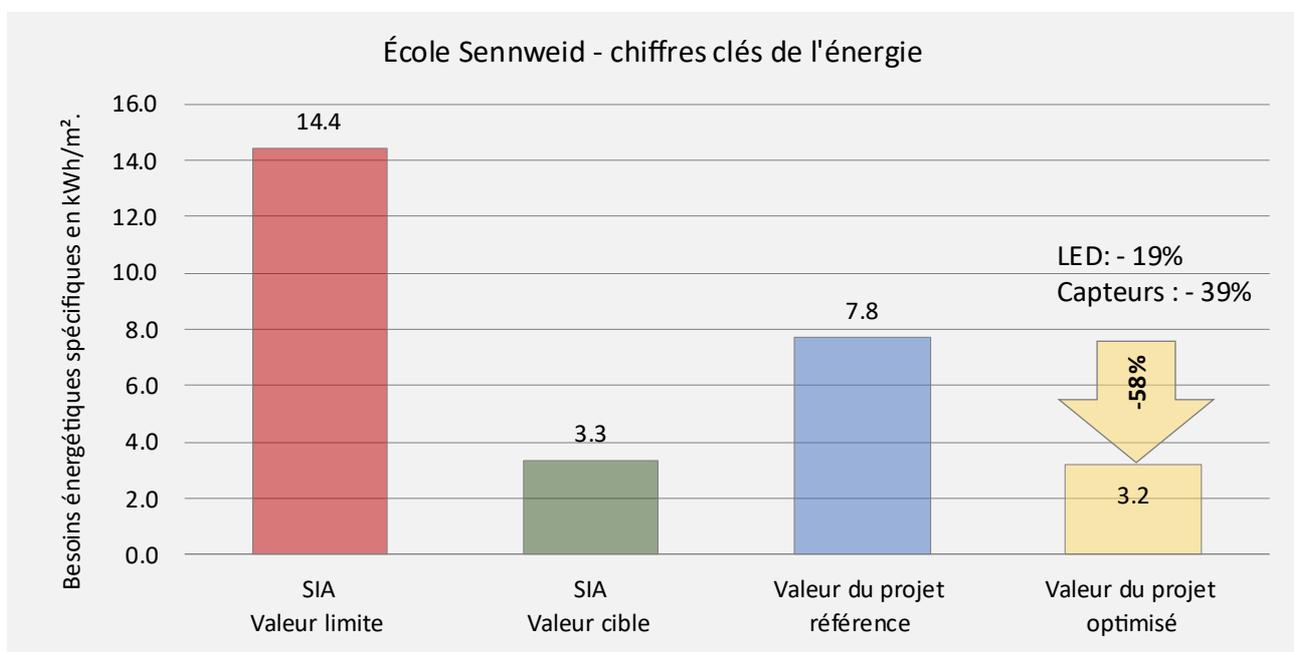


Figure 31 : Besoins énergétiques de l'ancien et du nouvel éclairage et comparaison avec les exigences SIA

## 4.6 Étude de cas 6 : parking 'Heuried' à Zurich

### Description du projet

Le parking du lotissement Heuried dans la ville de Zurich comprend 6 niveaux de parking avec environ 360 places de stationnement et une surface totale de 7360 m<sup>2</sup>. Auparavant, le garage était éclairé par des tubes fluorescents nus. En l'absence de véhicules et de personnes, des détecteurs de présence éteignent la lumière après environ 15 minutes.

Dans le cadre d'un essai pilote, l'éclairage de l'un des six niveaux de parking a été remplacé par un éclairage intelligent entre 2015 et 2018. L'essai a duré longtemps, car lors des premiers essais, le nouveau système n'a pas répondu aux attentes. En 2018, le nouvel éclairage a fonctionné de manière optimale et vers la mi-2021, les autres niveaux de parking ont également été équipés.

Les nouveaux luminaires à LED disposent de capteurs haute fréquence intégrés qui communiquent entre eux et produisent un éclairage en essaim parfait lorsque des voitures ou des personnes passent devant le garage. Le paramétrage s'effectue via une application pour téléphone portable.

Le contrôle métrologique de l'ancienne et de la nouvelle installation a été effectué dans l'un des six niveaux de parking pendant plusieurs mois en 2015 (ancien éclairage), 2016 (nouvel éclairage, 1er essai) et 2018 (2e essai réussi).

L'économie d'énergie est de 92%, dont 53% sont dus à la technologie des capteurs et 39% à la technique d'éclairage plus efficace. L'éclairage moyen du nouvel éclairage est de 190 lux et dépasse celui de l'ancien éclairage (150 lux).

Le client était l'Office des bâtiments de la ville de Zurich, la planification a été réalisée par l'entreprise WSMAG et Steinel a fourni les lampes à détecteur.



Figure 32 : Vue extérieure du parking souterrain Heuried, Zurich (photo : Stefan Gasser)

### Ancien éclairage

L'ancien éclairage du parking souterrain était équipé de réglettes fluorescentes nues (58 watts, ballast électronique). La commande est assurée par des détecteurs de présence séparés avec une temporisation de 15 minutes. Tous les luminaires d'un niveau de parking étaient réunis en un seul groupe.



Figure 33 : Ancien éclairage dans le garage Heuried (avec éclairage)

### Nouvel éclairage

Les luminaires à LED ont été repositionnés et des luminaires à détecteur de Steinel (modèle RS PRO Connect 5100) ont été utilisés, puis réunis en petits groupes d'éclairage. Après 1 minute sans mouvement, les luminaires de chaque groupe diminuent d'intensité pour atteindre 10% d'éclairage d'orientation ; après 15 minutes, les luminaires s'éteignent complètement.



Figure 34 : Nouvel éclairage dans le garage Heuried (avec éclairage, lumière d'orientation à l'arrière)

## Mesures

La variation journalière de la puissance de l'ancien éclairage a été enregistrée en continu pendant environ un mois. Ensuite, l'éclairage a été remplacé par des lampes à détecteur LED et la nouvelle installation a de nouveau été mesurée pendant un mois. Comme les capteurs à haute fréquence provoquaient manifestement des erreurs de commutation dues à d'autres champs électromagnétiques dans le garage, il a fallu installer de nouveaux luminaires avec des capteurs optimisés. La troisième mesure a donné les résultats escomptés.

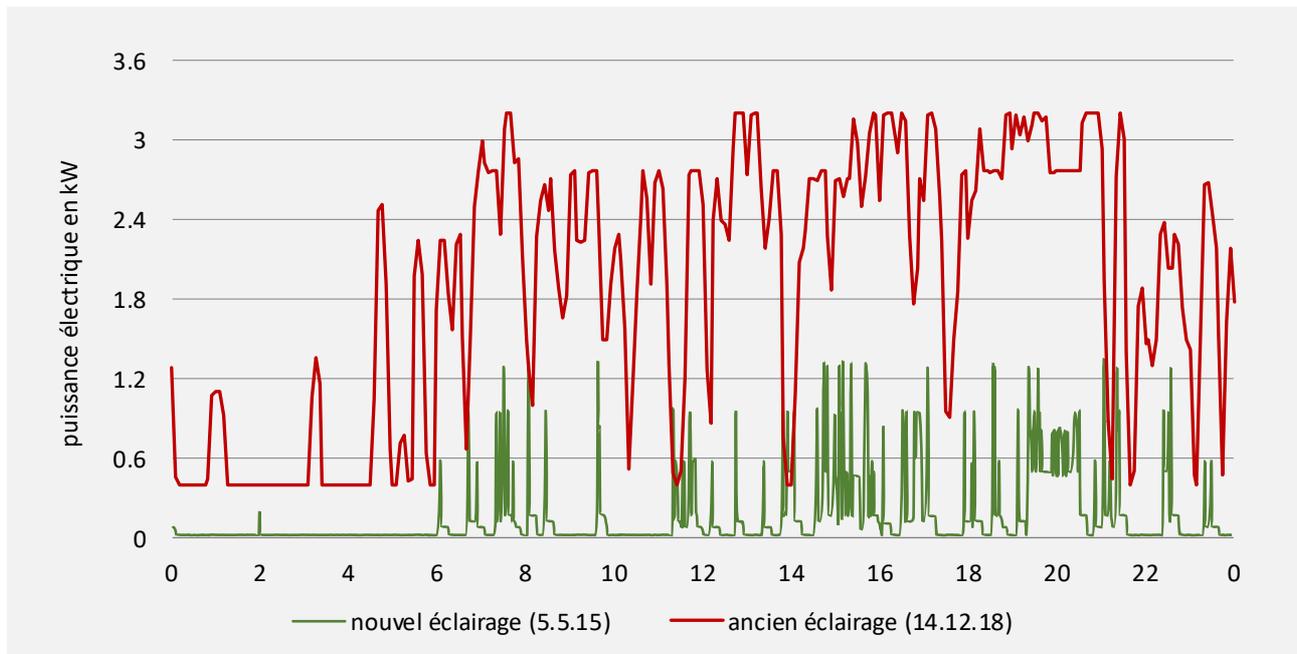


Figure 35 : Évolution journalière typique de la puissance dans le garage Heuried ancien et nouvel éclairage

L'illustration montre la variation journalière de la puissance de l'ancien et du nouvel éclairage sur deux jours comparables.

- L'ancien éclairage était équipé de tubes fluorescents et des détecteurs de présence séparés étaient installés. Comme l'ensemble du parking était regroupé et que les détecteurs de présence indiquaient une durée d'extinction de 15 minutes, l'éclairage était très souvent en service.
- Le nouvel éclairage utilise des luminaires à LED avec des capteurs haute fréquence intégrés. La temporisation est réglée sur une minute ; une lumière d'orientation à 10% de la pleine luminosité reste allumée pendant 15 minutes avant que l'éclairage ne soit complètement éteint.
- Alors que l'ancien éclairage ne s'éteint jamais complètement, car une partie des luminaires est toujours en service, le nouvel éclairage conserve une puissance de veille de 22 watts, ce qui correspond à une puissance spécifique de 0,02 W/m<sup>2</sup>.

## Bilan énergétique selon SIA 387/4:2017

	Unité	SIA Valeur limite	SIA Valeur cible	Valeur du projet référence	Valeur du projet optimisé
Niveaux d'éclairage	Lux	150		120	190
Surface	m <sup>2</sup>	1270			
Puissance	kW	3.56	2.29	3.21	1.33
	W/m <sup>2</sup>	2.8	1.8	2.5	1.0
Heures à pleine charge	h/a	4'672	2'336	5'318	1'009
Besoin en énergie	MWh/a	16.61	5.34	17.07	1.34
	kWh/m <sup>2</sup>	13.1	4.2	13.4	1.1
Économie					-92%

Tableau 9 : Bilan énergétique du garage Heuried selon SIA 387/4:2017

Par rapport aux valeurs caractéristiques de la norme SIA 387/4 (énergie électrique dans les bâtiments pour l'éclairage), l'ancien état se situait autour de la valeur limite. L'effet des détecteurs de présence était modeste. Le nouvel éclairage avec des lumières LED intelligentes réduit la consommation de 92 % et se situe donc bien en dessous de la valeur cible de la norme SIA 387/4 (édition 2017) Le 1er août 2023, la norme SIA révisée, avec des exigences plus strictes, est entrée en vigueur. La nouvelle valeur cible SIA pour cet usage est de 2,1 kWh/m<sup>2</sup>.

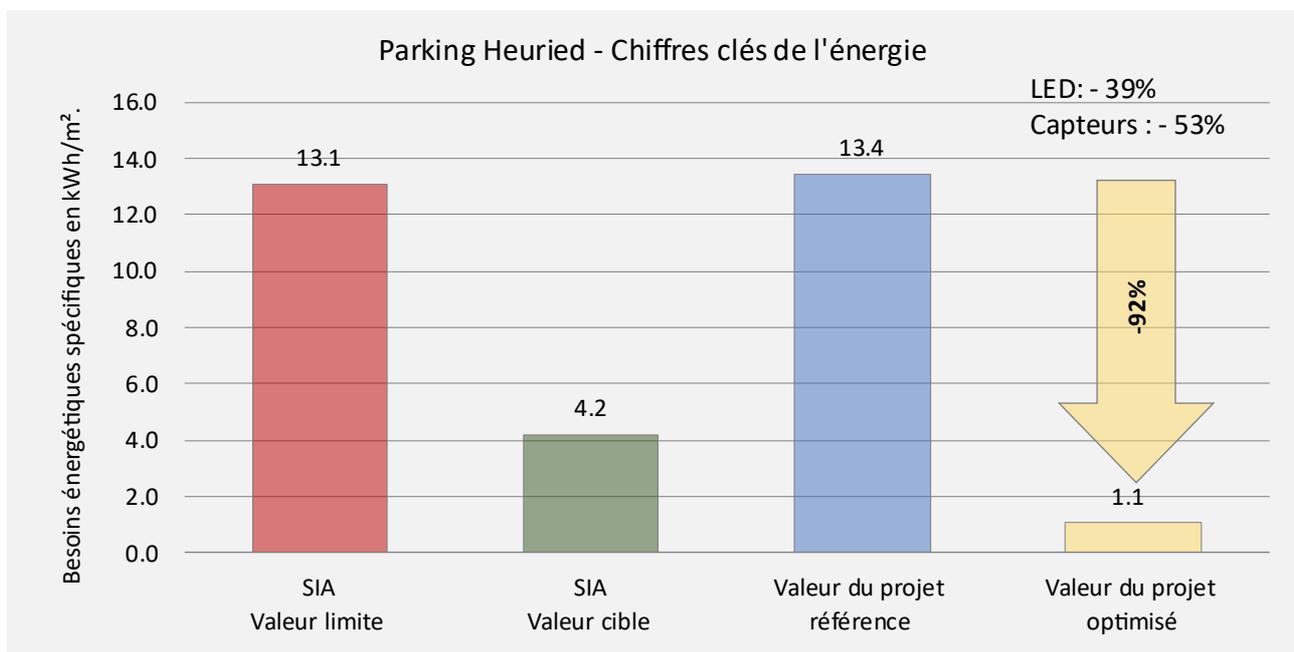


Figure 36 : Besoins énergétiques de l'ancien et du nouvel éclairage et comparaison avec les exigences SIA

## 4.7 Projets abandonnés

Parallèlement aux projets documentés précédemment avec une rénovation ou une optimisation "réussie" de l'installation d'éclairage commandée par capteurs, deux projets ont dû être interrompus dans le cadre de «SensoLight» après l'établissement d'un état des lieux. Dans les deux cas, le maître d'ouvrage avait placé des réserves d'ordre opérationnel ou financier au-dessus de l'utilité de l'optimisation énergétique.

Ces deux exemples sont brièvement expliqués ici, non pas pour réprimander les exploitants, mais pour montrer que dans le domaine de la régulation de l'éclairage - en particulier de l'éclairage intelligent - il faut d'une part encore faire un important travail de persuasion et que d'autre part, certaines conditions de construction (par exemple une protection solaire inadaptée) ne peuvent pas être facilement corrigées si elles ont été planifiées de manière défavorable du point de vue énergétique.

### Hôpital des citoyens de Soleure

Le nouveau bâtiment de l'hôpital de Soleure est une tour indépendante de 15 étages, inondée de lumière, qui se prête en principe très bien à l'utilisation de la lumière du jour. L'éclairage est équipé de luminaires à LED efficaces. Des capteurs de l'entreprise Swisslux et un réseau KNX constituent une bonne condition préalable pour adapter en permanence les luminaires à la lumière du jour et pour réduire l'éclairage des couloirs à une lumière d'orientation en cas d'absence de personnes (comme dans l'exemple de l'hôpital de Bienne).

Après les mesures effectuées, il s'est avéré que ni la régulation de la lumière du jour ni celle de la présence n'étaient activées. Les tentatives de motiver l'exploitant de l'hôpital pour la mise en service des capteurs installés n'ont pas abouti. Le scepticisme face à d'éventuels effets négatifs dans l'hôpital qui venait d'ouvrir était trop grand.

Le projet a dû être interrompu après l'évaluation de la situation actuelle. Le projet a été proposé par la société Swisslux.

### Centre culturel et sportif, Volketswil

Au centre culturel et sportif Gries de Volketswil (KUSPO), les anciens luminaires à grille d'angle équipés de lampes fluorescentes ont été remplacés par de nouveaux inserts LED et des capteurs en réseau. La puissance installée - et donc la consommation d'énergie - a pu être réduite de moitié.

Les mesures ont montré que la technique sensorielle intégrée et mise en réseau n'apporte pas l'effet optimal, car une partie des luminaires (éclairage de la couronne) n'est pas raccordée à la commande de l'éclairage et parce que l'utilisation de la lumière du jour ne peut pas être exploitée dans toute la mesure du possible en raison de la commande manuelle de la protection solaire. Pour une utilisation efficace de la lumière du jour, il aurait en outre fallu installer des lamelles variables et claires au lieu d'un rideau fermé. Une transformation n'était pas envisageable pour des raisons d'esthétique et de coût.

Le projet a dû être interrompu après l'évaluation de l'état actuel. Le projet a été proposé par la société Nevalux.

## 5 Recommandations pour les planificateurs

### 5.1 Typologie des capteurs

En principe, il faut faire la distinction entre les capteurs pour la détection de mouvements et les capteurs pour la détection de la lumière du jour.

Parmi les capteurs de lumière du jour, il existe des modèles montés sur le toit ou sur une façade extérieure. Il existe également des types qui mesurent la lumière du jour depuis la pièce vers la fenêtre et des capteurs de plafond dans la pièce. D'un point de vue physique, ces derniers sont les moins adaptés à la mesure de la lumière du jour, mais ils peuvent être combinés avec des capteurs pour la détection de personnes dans un seul appareil.

Parmi les détecteurs de personnes (et de véhicules), on distingue les détecteurs de présence pour les petits mouvements de personnes assises et les détecteurs de mouvement pour les personnes en mouvement.

Quant au détecteur de présence, il existe quatre méthodes différentes pour détecter la présence.

- Les PIR (capteurs infrarouges passifs) réagissent aux champs thermiques en mouvement. Leur détection est limitée par les murs de la pièce, mais aussi par les objets.
- Les capteurs à haute fréquence détectent également la présence derrière des cloisons et d'autres objets ; et s'ils ne sont pas bien ajustés, ils détectent également la présence dans les pièces voisines.
- Les capteurs à ultrasons sont adaptés aux pièces avec cloisons (par exemple les toilettes), car les ondes peuvent également "passer" derrière les objets, mais pas à travers les murs. Ils sont toutefois peu répandus en Europe.
- Les capteurs optiques pourraient jouer un rôle important à l'avenir. Ils enregistrent la pièce à l'aide d'une caméra et interprètent la présence de personnes et la lumière du jour à l'aide d'un petit ordinateur.

Même les détecteurs de mouvement les plus simples peuvent être construits selon différentes technologies de détection et, le cas échéant, inclure une simple détection de la lumière du jour.

Les détecteurs de présence combinés avec capteur de lumière du jour intégré sont le plus souvent utilisés dans les pièces bénéficiant de la lumière du jour (zone jaune dans le tableau ci-dessous).

De plus en plus souvent, les capteurs sont également intégrés directement dans le luminaire lui-même, ce qui n'était généralement le cas auparavant que pour les lampadaires.

Détection de la lumière du jour			Enregistrement des personnes (et des véhicules)				
Capteur extérieur	Capteur fenêtre	Capteur Plafond mur	Détecteur de présence				Détecteur de mouvement
			PIR	Haute-fréquence	Ultrason	Optique	

Tableau 10 : Typologie des capteurs pour l'éclairage (zone jaune : capteurs combinés fréquents pour la lumière du jour et la présence)

## 5.2 Check-list capteurs

Dans de nombreuses applications, l'utilisation de capteurs, surtout depuis que la technologie LED est devenue standard, permet de réaliser d'importantes économies supplémentaires. Malheureusement, celles-ci sont encore trop peu exploitées. Certains aspects fondamentaux sont importants lors du choix, de la planification, de l'installation et de la mise en service de capteurs.

### Choix des capteurs

- Utiliser si possible des produits qui ont été mesurés selon la norme CEI 63180:2020 ou la directive de contrôle sensNORM. Ces normes garantissent une zone de détection claire et donc une planification correcte.
- Les détecteurs de présence détectent avec précision même les petits mouvements et sont généralement préférables aux simples détecteurs de mouvement.
- Choisir des types de capteurs appropriés. Il existe sur le marché des capteurs spécialement conçus pour différents domaines d'application, comme la détection dans les couloirs ou les grandes hauteurs de montage.
- Les capteurs modernes peuvent être réglés et mis en réseau par radio (souvent Bluetooth). Cela simplifie la mise en service et élargit l'éventail des fonctions.
- Lampes à détecteur : Les capteurs intégrés dans les luminaires présentent l'avantage de ne pas nécessiter d'installation externe, ce qui permet de réduire les coûts. De plus, la planification précise du positionnement passe au second plan, car chaque luminaire (éventuellement un sur deux) est équipé d'un capteur.

### Planification

- Lorsque les caractéristiques de détection des capteurs choisis sont connues avec précision, leur positionnement dans la pièce peut être effectué à l'aide d'un outil informatique (par ex. Relux Desktop, RED CAD, etc.).
- Dans le courant de l'année 2024, un nouvel outil en ligne gratuit sera disponible pour la planification simple des capteurs (également de Relux).
- Lors de la planification, il faut veiller à prévoir des groupes de luminaires aussi petits que possible par capteur et à ne pas les faire fonctionner en parallèle. Seul un fonctionnement indépendant des différents groupes permet de réaliser des économies d'énergie importantes.
- Lors du placement des capteurs, il faut tenir compte des caractéristiques de détection de chaque capteur et prévoir une densité de capteurs suffisamment élevée afin d'éviter de longs temps d'arrêt.

### Mise en service

- Les études menées dans le cadre de ce projet - mais aussi d'autres - montrent que les capteurs installés en usine et qui ne sont pas réajustés lors de la mise en service n'exploitent en moyenne qu'environ 50 % du potentiel d'économie possible.
- L'intensité maximale de l'éclairage sur le poste de travail ou au sol (selon l'utilisation) doit être supérieure de 20 % au maximum à la valeur normalisée (soit par exemple 600 lux pour un poste de travail de bureau). Ce niveau doit être réajusté correctement sur le détecteur de présence pour chaque pièce.

- Les temps de poursuite doivent être aussi courts que possible : 1 minute dans les zones de circulation, 5 minutes maximum dans les locaux de travail. Cela n'est toutefois possible qu'avec des luminaires à intensité variable et des détecteurs qui prennent en charge une régulation constante de la lumière.
- Si l'installation d'éclairage permet un fonctionnement à plusieurs niveaux, il est possible de passer de l'éclairage complet à l'éclairage d'orientation (10% de lumière complète) avant d'éteindre complètement la lumière, par exemple après 15 minutes.

### 5.3 Les trois étapes d'optimisation pour un éclairage efficace

Le parcours vers l'installation d'éclairage la plus efficace peut être divisé en trois étapes. L'illustration montre les trois étapes et leurs "facteurs de risque".

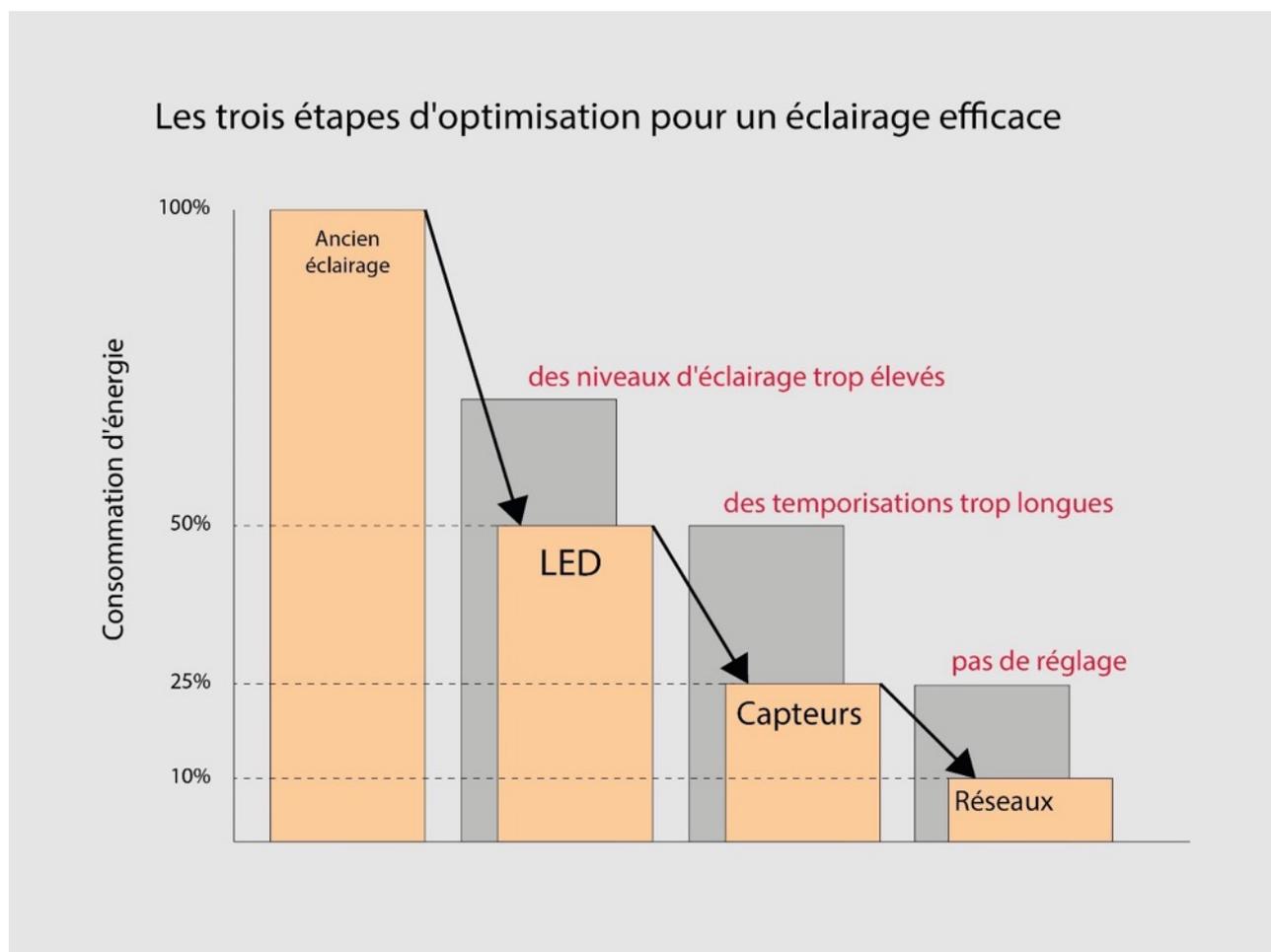


Figure 37 : Les trois étapes d'optimisation pour un éclairage efficace

### 1ère étape

Le remplacement d'un éclairage conventionnel à lampes fluorescentes par des sources lumineuses LED permet généralement de réduire de moitié la consommation d'énergie. Malheureusement, comme de nombreuses nouvelles installations d'éclairage sont surdimensionnées, une partie des économies d'énergie possibles est souvent perdue.

De tels surdimensionnements ne peuvent être corrigés en cours de fonctionnement que si l'on utilise des appareils à intensité variable (standard Dali). Les luminaires à intensité variable devraient en outre être mis en réseau (par exemple via Bluetooth ou deux fils supplémentaires pour Dali jusqu'au prochain tableau de distribution électrique), de manière à ce que le flux lumineux maximal des luminaires puisse être réglé de manière centralisée ou réduit en cas de lumière excessive.

Aujourd'hui, un luminaire équipé d'un ballast dimmable n'est guère plus cher qu'un luminaire non dimmable.

### 2ème étape

L'utilisation de détecteurs de présence et de lumière du jour peut, selon l'application, réduire encore de moitié la consommation d'électricité. Et ce, à condition que les temps d'arrêt - c'est-à-dire le temps pendant lequel le luminaire reste allumé pour des "raisons de sécurité" malgré l'absence de personnes ou une lumière du jour suffisante - soient réduits. Si ce temps est long, l'économie possible est nettement réduite. Selon la norme SIA 387/4, il est possible d'économiser environ 30% pour un temps de poursuite de 15 minutes dans un couloir, et 60% pour 1 minute. L'économie dépend du mode de fonctionnement des capteurs (automatique ou semi-automatique) ainsi que de l'utilisation (zones de circulation ou zones de travail). Le mode de fonctionnement "semi-automatique" permet en outre d'économiser de l'énergie.

### 3ème étape

Une troisième réduction de moitié de la consommation peut être obtenue en utilisant des luminaires en réseau avec des capteurs dans chaque luminaire (ou min. 1 capteur pour 4 à max. 6 luminaires). L'installation d'éclairage fonctionne en "essaim" ; c'est-à-dire que seuls les luminaires situés à proximité immédiate des personnes (ou des véhicules) sont allumés, les luminaires environnants sont réduits à 10% de charge partielle, les luminaires encore plus éloignés restent éteints.

Avec le mouvement des personnes, la lumière se déplace comme un essaim à travers la pièce, les temps de poursuite des luminaires sont typiquement d'une minute.

Une charge partielle de 10 % représente 10 % de la puissance électrique consommée pour une luminosité perçue d'environ 30 %. L'œil humain a une perception non linéaire de la luminosité, ce qui favorise dans ce cas les mesures d'économie d'énergie.

### Facteurs d'économie selon SIA 387/4

Les études de cas démontrent que dans les zones de circulation, la consommation d'énergie peut être réduite jusqu'à 95% avec des installations d'éclairage fonctionnant selon le principe des luminaires à capteurs en réseau et mis en service correctement.

Dans la nouvelle norme SIA 387/4 (version 2023), ce type de fonction a été repris avec un facteur de 0,2 (soit 80% d'économie) pour les zones de circulation et avec un facteur de 0,4 (soit 60% d'économie) pour les surfaces utiles principales.

Type de fonction	Temporisation détecteur de présence	Présence normale (NP) et présence permanente (DP)		Présence sporadique (SP)	
		manuel on, auto off	auto on, auto off	manuel on, auto off	auto on, auto off
Luminaires à détecteur en réseau	Typique 1 minute	-	0,4	-	0,2
auto on-off ou manuel on / auto off	1 minute	0,5	0,6	0,3	0,4
	2 minutes	0,6	0,7	0,4	0,5
	5 minutes	0,7	0,8	0,5	0,6
	15 minutes	0,8	0,9	0,6	0,7
Commutation manuelle avec arrêt temporisée		0,95		0,8	
Commutation manuelle		1			

Tableau 11 : Facteurs de correction pour la commande de l'éclairage de la norme SIA 387/4

Remarque concernant le tableau : les valeurs pour un temps d'arrêt de 15 minutes ont été supprimées sans être remplacées par la commission lors de sa dernière réunion. Cependant, étant donné que les temps d'arrêt de 15 minutes sont toujours une pratique courante et qu'ils ne peuvent pas être supprimés par une décision de la commission, ils sont tout de même mentionnés dans le tableau ci-dessus.