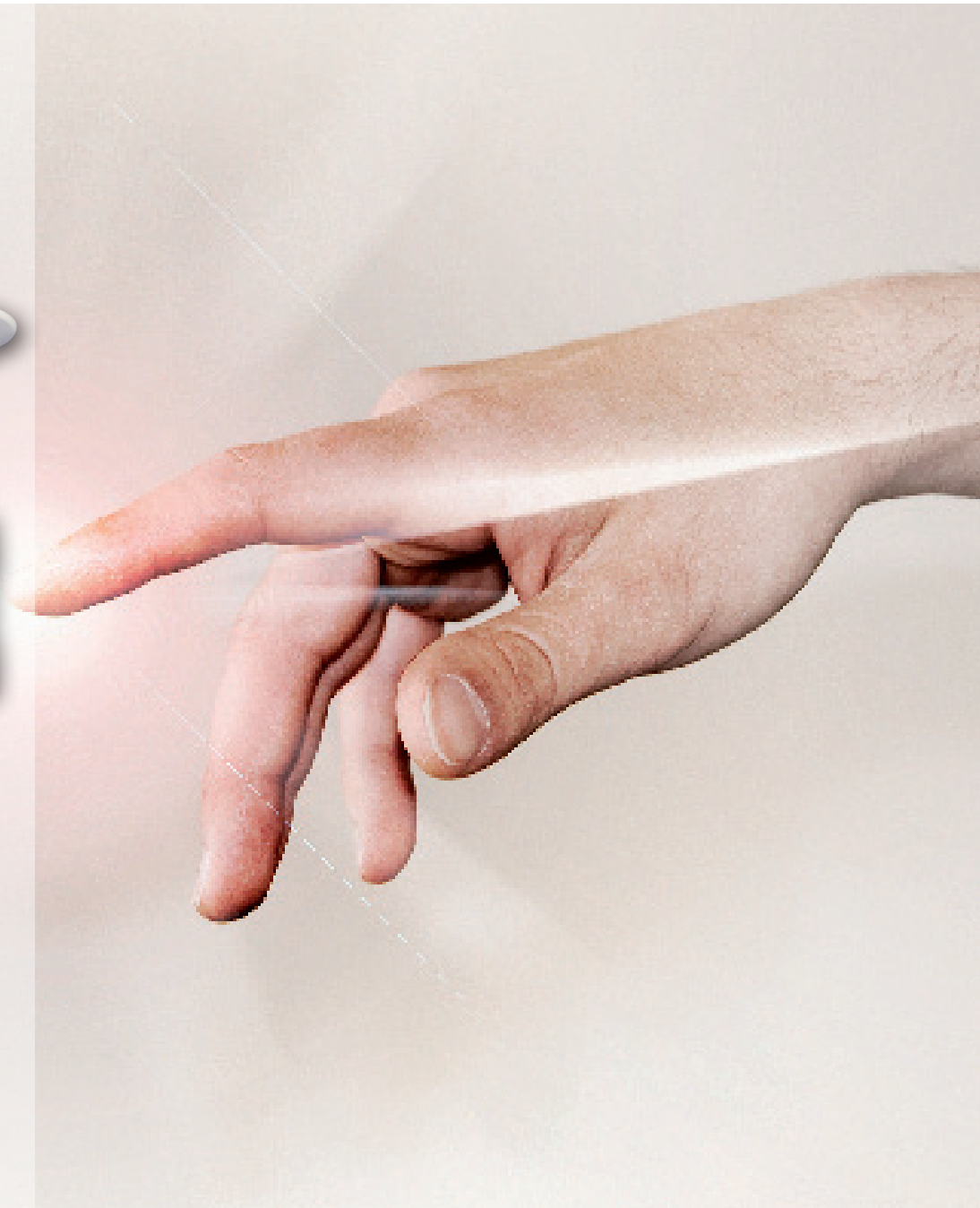


Régulation constante de lumière



Sous réserve de modifications et de corrections

Exclusion de responsabilité :

Malgré le soin apporté à la rédaction et à la francisation de ce « Guide pratique de la régulation constante de lumière », nous ne pouvons garantir l'absence d'erreurs ni en être tenus pour responsables, quel qu'en soit le motif.

Ce document fait l'objet de contrôles réguliers : les corrections qui s'imposent et vos suggestions d'amélioration seront prises en compte lors des prochaines éditions.

Pour nous contacter : abb.fr/knx

Sommaire

Guide pratique de la régulation constante de lumière

Principe de fonctionnement	2
Comprendre la lumière: intensité lumineuse, éclairement, luminance	3
Critères et conditions de détection de la luminance par le capteur de luminosité	5
Critères et conditions de mesure de l'éclairement par le luxmètre	8
Différence entre capteur de luminosité et luxmètre	10
Relation entre mesure directe de l'éclairement (réglage de consigne) et détection indirecte de la luminosité (régulation de lumière)	11
Influence de la répartition spectrale de la lumière	11
Impact de l'angle d'incidence de la lumière sur le capteur de luminosité et le luxmètre	12
Propriétés de réflexion de la pièce dans le champ de détection du capteur de luminosité	14
Choix de la tige du capteur de luminosité	14
Implantation du capteur de luminosité	16

Guide pratique de la régulation constante de lumière

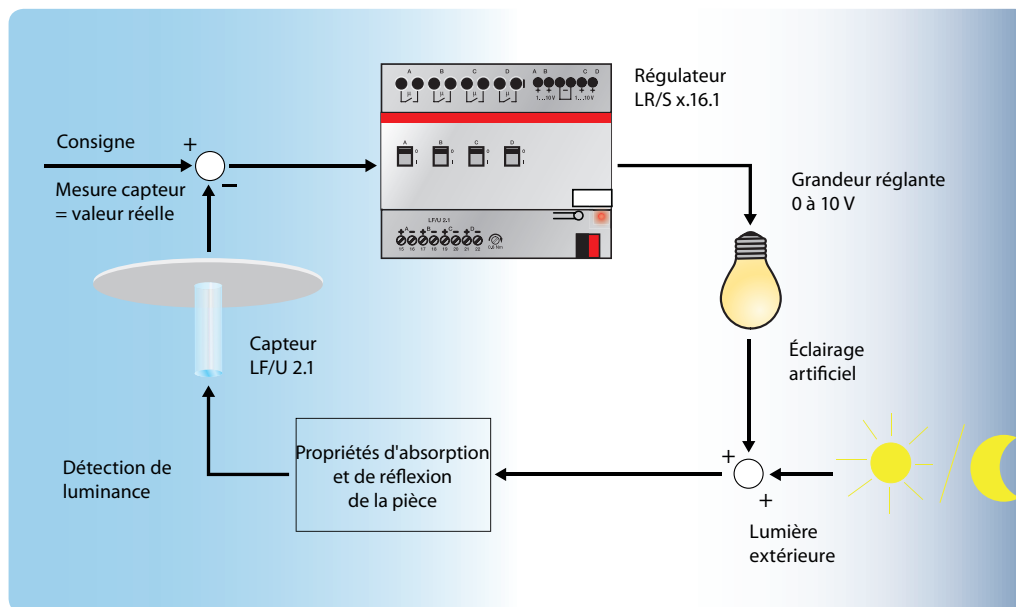
Ce guide pratique contient des informations de fond qui doivent vous permettre :

- de mieux comprendre le fonctionnement de la régulation constante de lumière ;
- de reconnaître les conditions ambiantes susceptibles d'altérer son bon fonctionnement ;
- d'évaluer ses contraintes et limites physiques ;
- de déterminer le meilleur emplacement de montage du capteur de luminosité.

Dans cette optique, il est d'abord indispensable de comprendre le langage de l'éclairagisme.

Principe de fonctionnement

Pour réguler en permanence l'éclairage d'une pièce, il faut un capteur de luminosité monté au plafond, qui mesure la « luminance » (cf. p. 5) des surfaces situées dans son champ de détection (sol ou plan de travail, par exemple).



Le principe de cette régulation est illustré ci-dessus : on commence par comparer la mesure de luminance du capteur (« valeur réelle ») à la consigne de luminosité pré-réglée, puis on ajuste la grandeur réglante (ici, sortie de commande 1 à 10 V du régulateur) de façon à minimiser l'écart entre ces deux valeurs.

Si la pièce reçoit suffisamment de lumière naturelle, il faut baisser la quantité de lumière artificielle ; à l'inverse, si la pièce s'obscurcit, l'éclairage artificiel doit augmenter. Le détail du fonctionnement du régulateur d'éclairage est décrit dans le manuel « LR/S x.16.1 ».

Une cellule de luxmètre placée sous le capteur de luminosité (sur un bureau, par exemple) fixe la consigne ; elle a pour fonction de détecter le niveau d'« éclairage » [E], c'est-à-dire le flux de lumière reçu par les surfaces sous le capteur.

Guide pratique de la régulation constante de lumière

La régulation constante de lumière a pour but de maintenir cet éclairage à la valeur de consigne préréglée. Pour cela, l'idéal serait d'installer le capteur de luminosité exactement au même endroit que le luxmètre qui règle la consigne. Or, pour des raisons pratiques, cette exigence n'est pas réalisable et le capteur est habituellement monté au plafond.

Il s'agit là d'un compromis. Pour fixer la consigne, on utilise un luxmètre qui mesure *directement* l'éclairage. De son côté, le régulateur détecte en priorité la luminance des surfaces vues par le capteur ; c'est donc grâce à une mesure *indirecte* de la lumière qu'il assure un éclairage permanent. Le non-respect de certaines contraintes peut alors entraîner le dysfonctionnement de sa commande.

Cette particularité n'est pas spécifique à notre régulateur ; c'est un phénomène commun à l'ensemble des régulations constantes de lumière.

Comprendre la lumière : intensité lumineuse, éclairage, luminance

Pour bien peser les problèmes liés à cette mesure indirecte de la lumière ambiante, il est indispensable de connaître les caractéristiques, grandeurs et unités photométriques essentielles à tout projet d'éclairage. Nous n'exposerons ici que les notions et termes fondamentaux de l'éclairagisme, sans reproduire leur expression mathématique.

Une lampe (tube fluorescent, par exemple) convertit l'énergie électrique en lumière. La quantité de lumière émise par une source (« exitance »), dans toutes les directions, est appelée « flux lumineux » [Φ] et s'exprime en lumens [lm].

Pour autant, toutes les lampes n'ont pas le même rendement ou « efficacité lumineuse » [K] (rapport du flux lumineux émis par la puissance électrique absorbée, en lumens par watt [lm/W]) :

Sources lumineuses	Type	Efficacité lumineuse globale, en lm/W	Efficacité énergétique globale, en %
A incandescence	Filament 5 W	5	0,7
	Filament 40 W	12	1,7
	Filament 100 W	15	2,1
	Halogène verre	16	2,3
	Halogène quartz	24	3,5
	Haute température	35	5,1
A tube fluorescent	Fuocompactes basse consommation (LBC) 5–26 W	45 – 70	6,6 – 10,3
	Fuocompactes basse consommation (LBC) 26–70 W	70 – 75	10,3 – 11
	Avec ballast inductif	60 – 90	7
	Avec ballast électronique	80 – 110	11 – 16
A diodes électroluminescentes (LED)	LED blanches les plus performantes du marché	35 – 100	5 – 15
	Prototypes de LED blanches (en développement)	150 maxi	22 maxi
A arc électrique	Xénon	30 – 50 typ. 150 maxi	4,4 – 7,3 22 maxi
	Xénon + vapeur de mercure	50 – 55	7,3 – 8
	A vapeur de mercure haute pression	36 (50 W HQL) – 60 (400 W HQL)	8,8 maxi

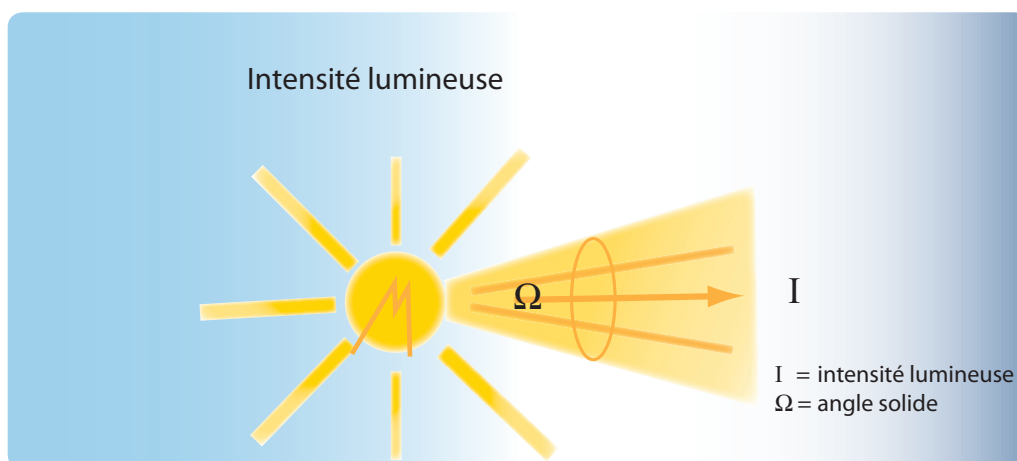
Guide pratique de la régulation constante de lumière

Sources lumineuses	Type	Efficacité lumineuse globale, en lm/W	Efficacité énergétique globale, en %
A décharge	A halogénures métalliques (iodures)	93 (70 W HCl) – 104 (250 W HCl)	15 maxi
	A vapeur de sodium haute pression (SHP)	150	22
	A vapeur de sodium basse pression (SBP)	200	29
	Lampe au soufre 1 400 W	95	14
Maximum théorique		683	100

Source: Wikipedia

Une autre grandeur photométrique est l'« intensité lumineuse » [I], mesurée en candela [cd]: elle définit l'importance du flux lumineux émis par une source ponctuelle dans une direction donnée, passant dans un angle solide [Ω] de 1 stéradian [sr].

Pour simplifier, on peut dire qu'une intensité lumineuse de 1 candela correspond à un éclairage de 1 lux mesuré à une distance de 1 mètre de la source de lumière.



La quantité de lumière tombant sur un point ou un plan donné est appelée « éclairage » [E]; son unité de mesure est le lux [lx], 1 lux étant égal à 1 lumen par mètre carré [lm/m²].

Il est donné par la formule :

$$E = \Phi / A \text{ [lx]}$$

avec

Φ = flux lumineux

A = surface éclairée

Guide pratique de la régulation constante de lumière

Ainsi, une lampe à incandescence d'une puissance électrique de 100 W et d'une efficacité lumineuse de 15 lm/W émet un flux maximal de 1 500 lm. Si ce dernier ne rayonne pas de façon sphérique dans la pièce mais se concentre et se diffuse uniformément sur une surface de 1 m², alors l'éclairement en tous points du plan utile est de 1 500 lx.

La luminosité perçue par l'œil humain d'une surface éclairée dépend de la nature de cette surface et de sa capacité à réfléchir la lumière ou « réflectance », à savoir la partie du flux lumineux transmise, produite ou réfléchi par la surface apparente.

Quelques valeurs types de réflectance :

90 %	argent poli
75 %	papier blanc
65 %	aluminium poli
20 à 30 %	bois
< 5 %	satin noir

La sensation visuelle de luminosité d'une surface éclairée ou éclairante (afficheur à cristaux liquides, par exemple) est la « luminance », mesurée en cd/m²; c'est ce qui donne à l'œil une impression d'obscurité, de clarté, de brillance...

A un niveau d'éclairement de 500 lx, la luminance d'une feuille de papier blanc est comprise entre 130 et 150 cd/m² tandis que celle du papier recyclé varie en moyenne de 90 à 100 cd/m².

Critères et conditions de détection de la luminance par le capteur de luminosité

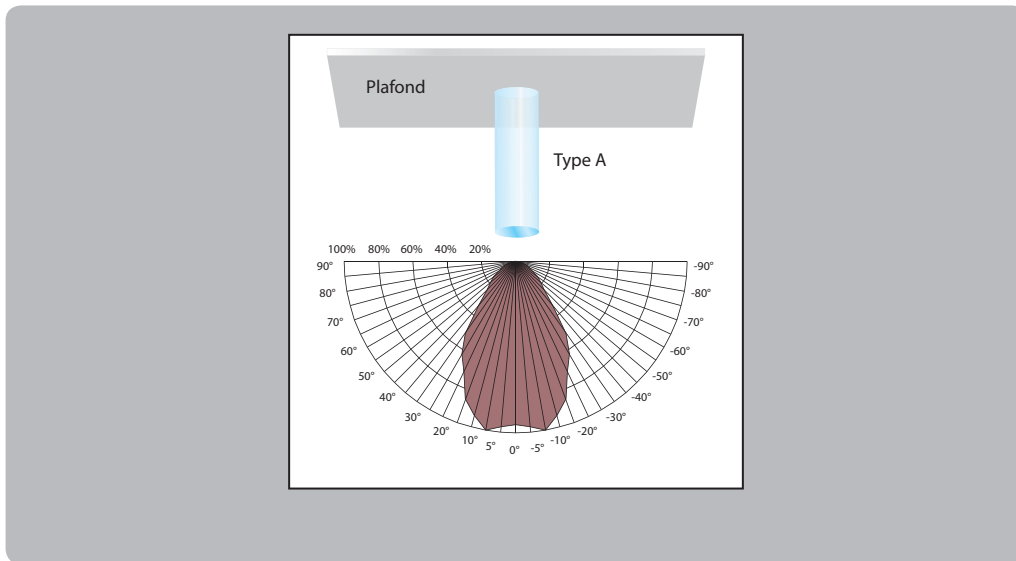
La luminance détectée par le capteur de luminosité est fonction de plusieurs paramètres.

Le premier est le niveau d'éclairement des surfaces entrant dans le champ de détection du capteur ; plus il est élevé, plus la luminance des plans éclairés est importante.

Il en va de même de la réflectance de ces surfaces : plus elle est élevée, plus la luminance et, par conséquent, la valeur détectée par le capteur (qui sert de mesure à la régulation de lumière) augmentent.

La hauteur de montage du capteur joue aussi un rôle. Le capteur de luminosité n'étant pas un appareil de détection « parfait », sa mesure de la luminance diminue avec la distance au sol.

Autre critère d'importance, la direction du flux lumineux : le capteur détecte avant tout la luminance de la surface qu'il surplombe.



Sur ce graphique, l'angle d'ouverture à 3 dB de notre capteur de luminosité LF/U 1.1 avoisine 60°.

Exemple: monté à une hauteur d'environ 3 m, le capteur est capable de détecter la luminance d'un plan éclairé ou éclairant situé dans un rayon de près de 5 m.

Les conditions d'éclairage d'une pièce sont étroitement liées à cette caractéristique. Dans la pratique, des ouvertures ou parois très réfléchissantes sont néfastes à la qualité de l'éclairage.



Cette photo illustre bien l'impact que peut avoir la grande réflectivité d'une fenêtre sur le rayon de détection du capteur de luminosité éloigné de 2 m des ouvertures latérales.

Guide pratique de la régulation constante de lumière

Autre inconvénient: le capteur détecte aussi la lumière réfléchie par les armoires ou vitrages situés dans son voisinage immédiat.



Ces réflexions peuvent être occasionnées aussi bien par des plans verticaux (portes) que les surfaces au plafond.

Ici, la hauteur et l'orientation des brise-soleil dans le champ de détection du capteur faussent également la mesure.



Guide pratique de la régulation constante de lumière

En particulier, le plafond côté fenêtre reçoit davantage la lumière du jour que la partie du plafond située côté opposé à la fenêtre.



Selon l'éloignement du capteur à la fenêtre, le faisceau de lumière latéral tombant sur l'appareil peut considérablement altérer la mesure, dans son champ de détection. Le capteur possède une caractéristique directionnelle donnée; néanmoins, lorsque l'éclairement latéral auquel il est soumis est nettement supérieur à la luminance, dans son champ de détection, cette caractéristique n'est plus adaptée.

Critères et conditions de mesure de l'éclairement par le luxmètre

Par convention, le luxmètre mesure le niveau d'éclairement dans un plan circulaire horizontal [Eh]; cette caractéristique lui fait calculer le rayonnement incident de façon identique dans toutes les directions horizontales partant de ce point de mesure.

La mesure sur le plan vertical [Ev] est différente. Le flux lumineux tombant à la verticale sur le luxmètre est affecté d'une plus grande valeur que la lumière latérale incidente: on dit que la mesure est « rectifiée du cosinus de l'angle » compris entre la surface éclairée et l'axe de la source lumineuse.

Dans le même temps, la répartition spectrale de la lumière (dans la plage de rayonnement visible de 380 à 780 nm) est évaluée avec la sensibilité visuelle de l'œil humain.

Malheureusement, pour un même point de mesure et dans les mêmes conditions de détection, les résultats différeront en fonction de l'appareil utilisé.



Sur cette photo, le luxmètre de gauche indique 948 lx, celui du milieu (boîtier jaune) 765 lx et celui de droite 827 lx. Les écarts peuvent encore se creuser, selon que l'on mesure la luminosité naturelle, la lumière artificielle ou une lumière mixte, ou que l'on installe les appareils à l'ombre ou directement au soleil...



En un même point de mesure, les deux luxmètres affichent des valeurs discordantes, sur la photo de gauche, et presque les mêmes mesures, sur la photo de droite, alors que les conditions d'éclairage sont différentes en raison de l'incidence de la lumière faussée par la présence d'ombres.

Pour remédier à ces disparités, il est fondamental d'employer le même appareil de mesure, tant pour la configuration de l'éclairage que pour les contrôles ultérieurs : c'est la seule façon d'obtenir des résultats comparables.

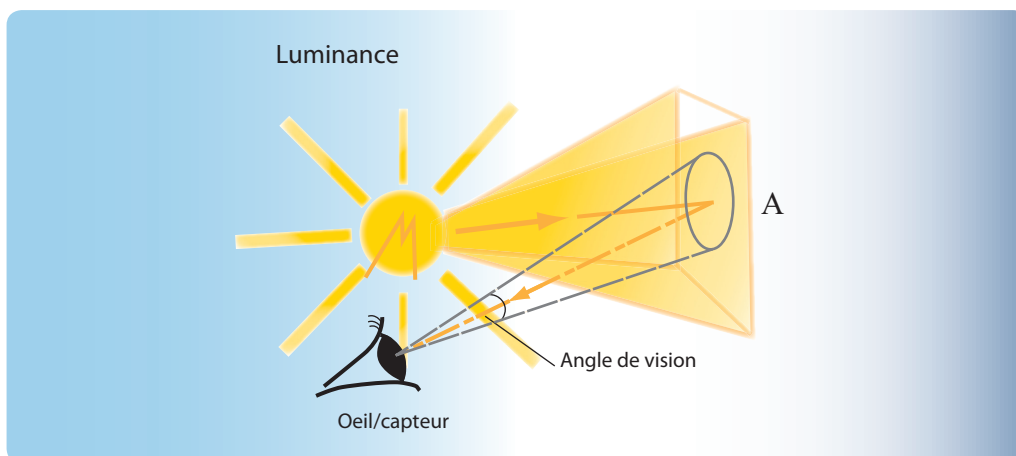
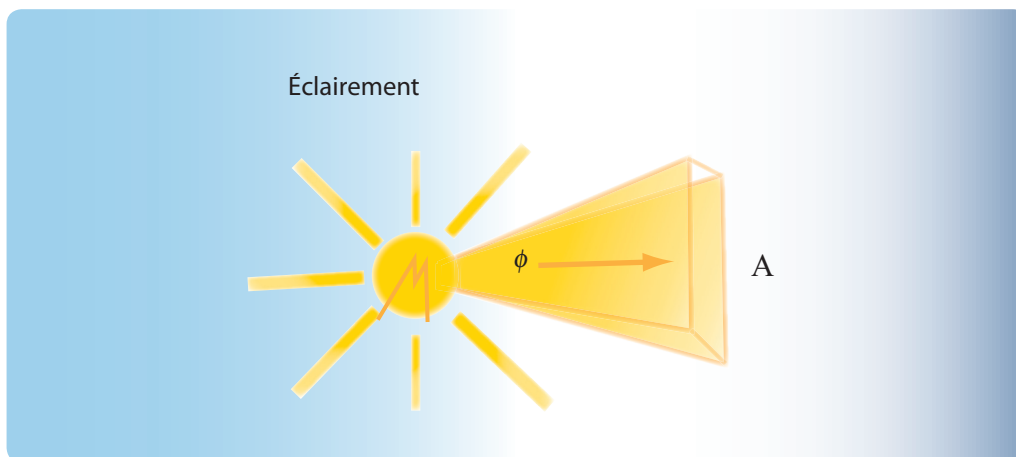
Guide pratique de la régulation constante de lumière

Différence entre capteur de luminosité et luxmètre

Le capteur de luminosité mesure la lumière réfléchie par les surfaces entrant dans son champ de détection et perçue par l'oeil humain.

Le luxmètre mesure la lumière artificielle et/ou le rayonnement solaire direct à travers les fenêtres, ou encore la lumière extérieure diffuse, par temps couvert.

Cette distinction est schématisée ci-dessous : au luxmètre, la mesure de l'éclairement ; au capteur, la détection de la luminance.



Guide pratique de la régulation constante de lumière

Relation entre mesure directe de l'éclairement (réglage de consigne) et détection indirecte de la luminance (régulation de lumière)

Lorsque les conditions suivantes sont réunies :

- la répartition spectrale de la lumière ne change pas ;
- l'angle d'incidence de la lumière sur le capteur de luminosité et le luxmètre est le même ;
- les propriétés de réflexion de la pièce, dans le rayon de détection du capteur et du luxmètre, ne varient pas,

on constate un rapport quasi linéaire et proportionnel entre la mesure de la luminance par le capteur et la fluctuation du niveau d'éclairement.

Il est donc possible, selon ce principe, de déterminer le niveau d'éclairement à partir de la mesure indirecte de la luminance et de s'en servir comme valeur réelle pour la régulation de lumière.

Influence de la répartition spectrale de la lumière

Sachant que le rapport entre éclairage artificiel et luminosité naturelle, et, par conséquent, la répartition spectrale de la lumière dans la pièce changent tout au long de la journée avec la régulation constante, on peut relever différentes valeurs au point de mesure du capteur de luminosité, pour un niveau d'éclairement maintenu constant.

La logique inverse veut que l'on obtienne différents niveaux d'éclairement quand le capteur donne des valeurs de mesure constantes (grâce à la régulation).

Pour pallier cet inconvénient, il faut compenser les différents niveaux de lumière du jour et d'éclairage artificiel sur le capteur ; c'est le rôle du nouveau régulateur LR/S x.16.1 qui est étalonné avec la lumière extérieure et la lumière artificielle.

Pour cela, la consigne de luminosité est réglée seulement au moyen de la lumière artificielle (mode Nuit). Le régulateur enregistre comme consigne la valeur réelle du capteur et la valeur de réglage correspondante de l'éclairage artificiel. Puis il applique toute la plage de valeurs réglantes (0 à 100 %) et enregistre également les valeurs réelles correspondantes.

Ainsi « connaît-il » la valeur réelle nécessaire à la régulation de lumière.

On procède ensuite à un étalonnage avec la lumière extérieure (mode Jour) pour fixer la consigne de luminosité, sans éclairage artificiel.

Le régulateur « connaît » ainsi la valeur réelle nécessaire à la consigne.

En utilisant les résultats de ces deux étalonnages, le régulateur calcule les facteurs de correction nécessaires aux différents rapports lumière naturelle/lumière artificielle pour maintenir un éclairage constant, quelle que soit la détection indirecte de luminance.

Guide pratique de la régulation constante de lumière

Impact de l'angle d'incidence de la lumière sur le capteur de luminosité et le luxmètre

Si l'étalonnage avec la lumière du jour s'effectue sous rayonnement diffus (temps couvert, par exemple), on fournit au capteur une valeur donnée d'éclairement correspondant à une valeur de lux pré-réglée.

S'il est réalisé en plein soleil, il se peut que pour une même valeur de lux pré-réglée d'éclairement, on fixe sur le capteur une valeur de lux très divergente.



A cela, deux raisons possibles :

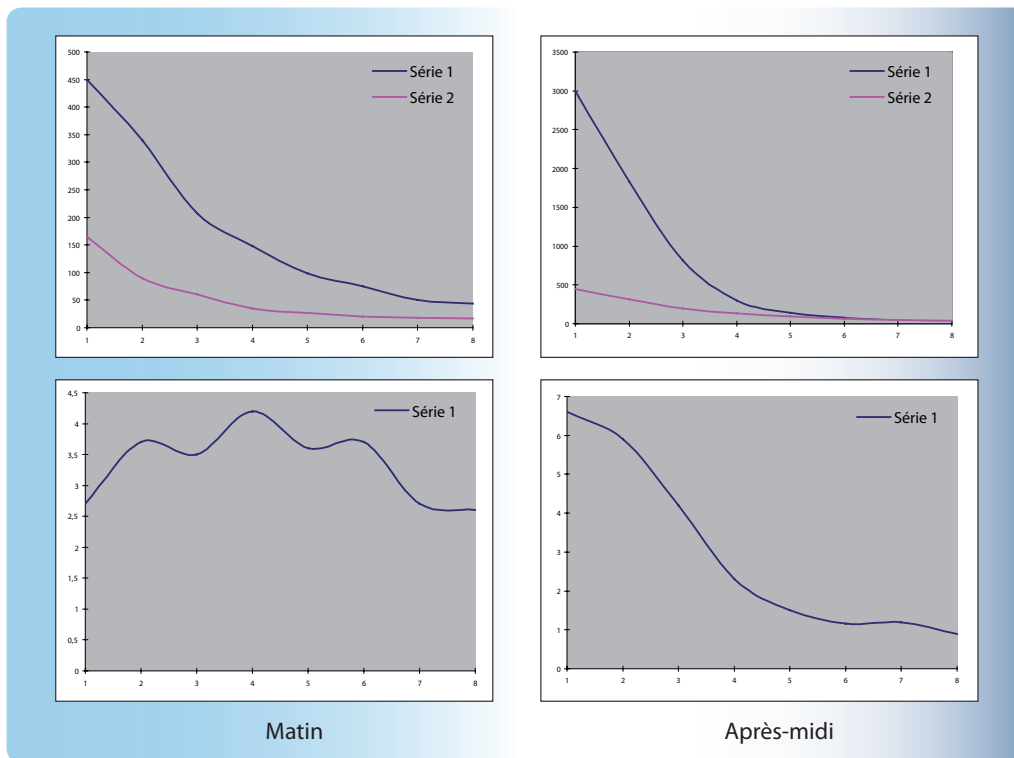
- sous différents angles d'incidence de la lumière, le capteur et le luxmètre sont soumis à différentes influences ;
- les réflexions sur les surfaces brillantes ou réfléchissantes modifient la mesure du capteur mais pas celle du luxmètre.

Dans pareils cas, la meilleure parade consiste à compenser le capteur de luminosité afin qu'il réagisse aux différentes conditions d'éclairage de la même façon que le luxmètre. En général, on tient compte des surfaces situées sous et sur le capteur, dans différentes conditions d'éclairage.

On peut y remédier en déterminant, de proche en proche, la position optimale du capteur ; cette méthode est pourtant quasiment inappliquée car elle demande beaucoup de temps.

Illustration : dans le sous-sol d'un bâtiment, l'éclairement et le rapport entre l'éclairement du sol et du plafond sont mesurés en différents endroits du local, le matin et l'après-midi, à l'aide de deux luxmètres, l'un au plafond (courbe rouge) et l'autre sur le bureau (courbe bleue).

Précisons que pour exprimer la distance de l'appareil à la fenêtre, le plafond est divisé en unités graduées de largeur.



Sur ces relevés, on constate que, le matin (pièce non ensoleillée), le rapport oscille entre 2,7 et 4,2 alors que, l'après-midi (pièce ensoleillée), il s'étend de 0,9 à 6,6.

Conclusion : à une distance de la fenêtre de 3,5 unités de largeur, le luxmètre du plafond affiche toujours un niveau 3,75 fois supérieur à celui du bureau, quel que soit le type d'éclairage. En d'autres endroits, les deux appareils indiquent des valeurs nettement divergentes (écarts de plusieurs facteurs de grandeur), selon le type d'éclairage.

Pour faciliter la tâche, les mesures ont été réalisées avec deux luxmètres, l'un au plafond, l'autre sur le bureau : c'est la meilleure façon de déterminer la position optimale du capteur de luminosité.

Cette mesure simplifiée rend bien compte de l'importance de l'implantation du capteur. Il est nécessaire de déterminer la position où le luxmètre et le capteur sont influencés de la même façon lorsqu'ils sont exposés à différentes conditions d'éclairage.

En pratique, le meilleur emplacement du capteur de luminosité se situe le plus souvent dans une zone s'étendant du milieu de la pièce au dernier tiers le plus éloigné de la fenêtre.

Propriétés de réflexion de la pièce dans le champ de détection du capteur de luminosité

Nous l'avons dit, la luminance d'une surface apparente est fonction de son niveau d'éclairage et de sa réflectance (cf. p. 5).

Le facteur de réflexion (rapport du flux lumineux réfléchi au flux incident) d'une moquette de couleur sombre se situe entre 5 et 10 %, alors qu'il est de 20 à 30 % pour le parquet. Si un plan de travail gris clair est placé sous le capteur de luminosité, son facteur de réflexion est de l'ordre de 50 %.

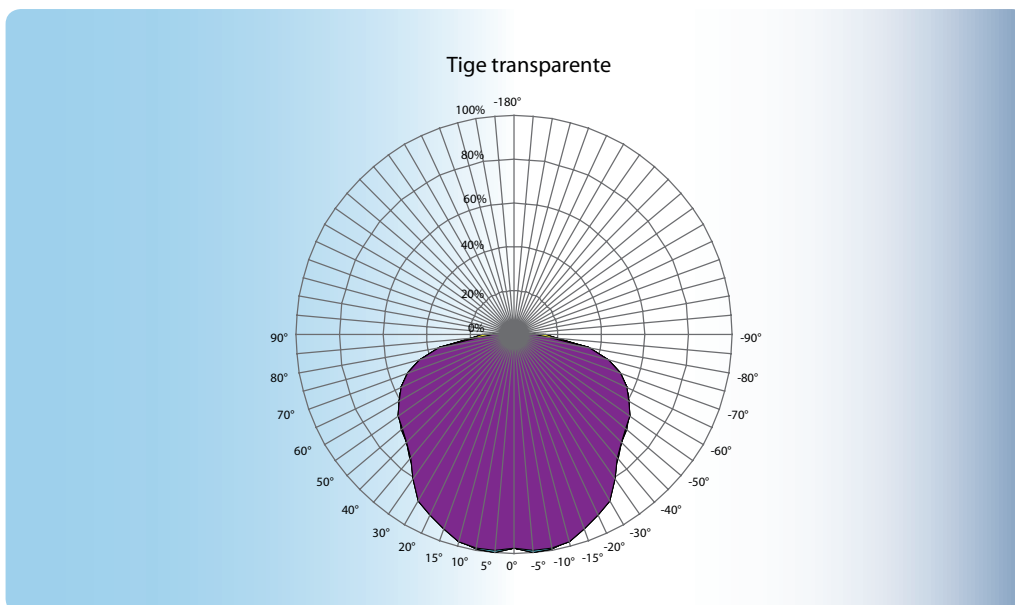
Conclusion : rien ne sert de configurer une régulation constante de lumière tant que l'on n'a pas fini d'aménager la pièce !

Si, par exemple, on fixe une consigne dans une pièce non meublée et seulement pourvue d'une moquette sombre, la valeur à régler sera nettement supérieure à celle résultant de la consigne réglée dans une pièce complètement équipée de mobilier clair.

Cela signifie qu'un changement de meubles et de couleurs de revêtement mural, ou un déplacement de cloisons... peut obliger à revoir la consigne, voire à modifier l'emplacement du capteur.

Choix de la tige du capteur de luminosité

Le capteur de luminosité LF/U 2.1 et sa tige transparente (commercialisés depuis mi-2008) ont un angle d'ouverture à 3 dB d'environ 120° ; autrement dit, ils détectent la luminance d'une zone relativement importante, sous l'emplacement de montage.

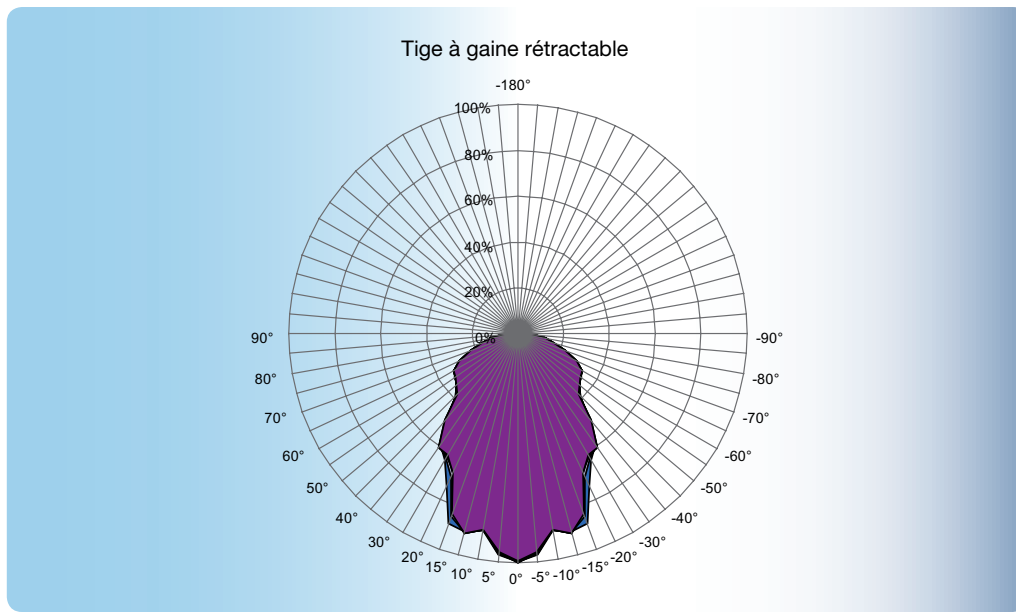


En dessous d'un angle voisin de 70°, l'incidence du flux lumineux latéral sur le capteur n'est pratiquement pas atténuée ; à l'opposé, la lumière tombant sur un angle de 85° à 90° est fortement amoindrie, à cause de sa totale réflexion sur la tige transparente.

Guide pratique de la régulation constante de lumière

L'expérience montre que, dans des conditions ambiantes défavorables, il peut être nécessaire de couvrir la tige pour supprimer autant que possible les effets de la lumière incidente latérale.

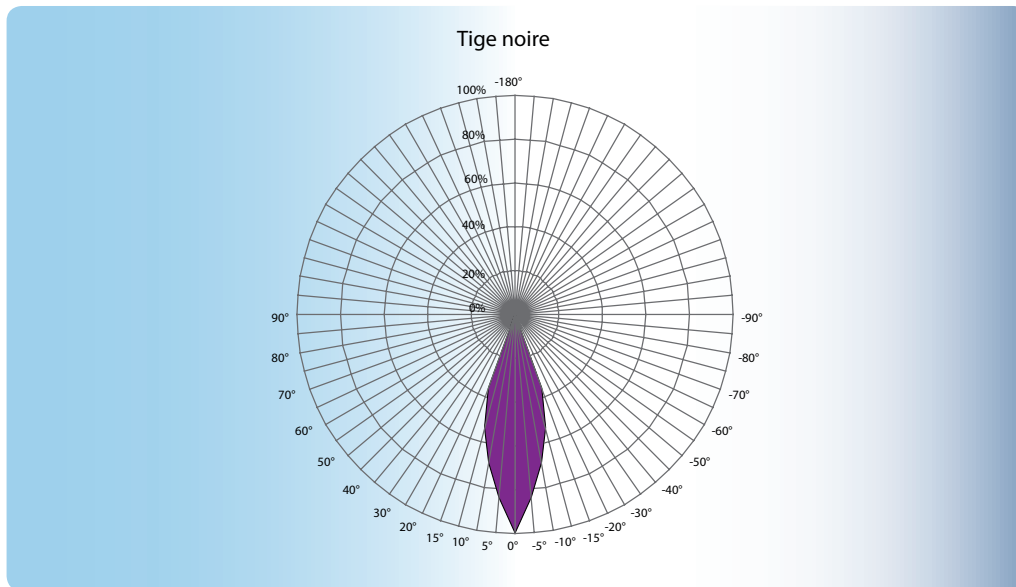
C'est pourquoi une tige peinte en gris ou doublée d'une gaine rétractable est disponible depuis mi-2008, avec un angle d'ouverture ramené à environ 40°.



Cette tige réduit considérablement l'influence du flux latéral incident. La commande est en outre plus sensible aux modifications intervenant dans le champ de détection du capteur ; c'est le cas, par exemple, si l'on remplace un sous-main de bureau de couleur sombre par un équivalent plus clair.

S'il est impossible d'utiliser ce type de tige, vous pouvez, comme c'était le cas auparavant, gainer la tige d'une enveloppe de câble NYM.

Le résultat est identique à celui obtenu avec la tige noire ci-dessous.



Implantation du capteur de luminosité

L'installation du capteur de luminosité doit respecter certaines règles.

Son positionnement optimal n'est envisageable que dans une pièce totalement aménagée.

Dans la mesure où il est généralement impossible de déterminer sur plan le meilleur emplacement du capteur, il importe *in situ* :

- de monter le capteur de préférence dans la zone au plafond située entre le milieu et le tiers de la pièce le plus éloigné des fenêtres ;
- de s'assurer que le capteur n'est pas directement exposé aux éclairages dirigés vers le plafond ou aux luminaires voisins ;
- d'éloigner le plus possible le capteur des sources latérales de lumière.

