

Le guide de l'éclairage
naturel
zénithal
pour les bâtiments industriels,
commerciaux et tertiaires

En mémoire de Bernard Lepage, coordinateur GIF Lumière



Ce guide a été réalisé par GIF Lumière en partenariat avec :



Sommaire

	Préface et objectifs de ce guide	p 4
	Six bonnes raisons d'utiliser l'éclairage naturel dans les bâtiments	p 6
	1. Les différentes sources d'éclairage naturel	p 12
	2. Les recommandations pour une bonne installation	p 17
	Les 3 règles à respecter	p 18
	2.1. Déterminer l'autonomie de lumière naturelle	p 20
	2.2. Assurer une bonne uniformité d'éclairage naturel	p 23
	2.3. Définir les surfaces éclairantes nécessaires	p 25
	2.4. Logiciels de calcul lumière	p 27
	3. Normes et référentiels HQE	p 28
	4. Bilan énergétique positif de l'éclairage naturel	p 30
	5. Retour sur investissement	p 38
	6. Pilotage de l'éclairage artificiel complémentaire	p 41
	7. Glossaire & bibliographie	p 47

Laisser entrer la lumière naturelle est aujourd'hui un geste de sobriété énergétique

Du point de vue énergétique, l'éclairage naturel peut être perçu comme une énergie renouvelable. La ressource est présente et inépuisable, elle apporte éclairage naturel et chaleur dans les bâtiments. Les surfaces vitrées ont longtemps été peu utilisées en raison de leur faible isolation thermique, limitant le recours à la lumière naturelle. Mais les progrès techniques dans les matériaux, plus isolants, et les méthodes constructives employées, avec des protections solaires adéquates, permettent aujourd'hui de favoriser l'éclairage naturel sans dégrader la thermique du bâtiment.

Ainsi, la réglementation thermique impose déjà des minimums de surfaces vitrées pour les parois des bâtiments et les futures réglementations entendent elles aussi mieux prendre en compte les autres aspects environnementaux hors énergie. Laisser entrer la lumière naturelle est aujourd'hui un geste de sobriété énergétique.

Nous passons près de 80% de notre temps dans les bâtiments. Le bien-être au sein de ceux-ci est donc essentiel et passe entre autres par une bonne disponibilité de l'éclairage naturel. Dans certaines situations, une augmentation de productivité liée à plus d'éclairage naturel a été observée. Les nouvelles constructions de centres commerciaux font la part belle à l'éclairage naturel, les rendant plus agréables avec pour effet une augmentation des ventes. Un espace baigné de lumière naturelle sera plus accueillant, les volumes valorisés pour un esthétisme renforcé.

Ces sujets sont largement abordés et illustrés dans ce guide. À destination des maîtres d'ouvrage mais aussi des maîtres d'œuvre, il donne quelques règles simples à respecter pour disposer d'une bonne installation d'éclairage naturel. Enfin, pour compléter l'éclairage naturel, le pilotage de l'éclairage artificiel est indispensable et ce guide propose également des solutions dans ce sens.

Bruno Lafitte

Ingénieur ADEME, Éclairage (naturel, intérieur & public)

Adaptation au changement climatique des bâtiments

La lumière naturelle, c'est la vie !

Première source d'éclairage depuis des millénaires, la lumière naturelle est une énergie gratuite... Et bien plus encore ! Vous découvrirez dans ce guide ses nombreux bénéfices au sein du monde professionnel ainsi que des solutions pour concevoir des espaces de travail confortables et économes en énergie grâce à l'éclairage naturel zénithal.

A modern interior space featuring a large, curved glass and metal roof structure that allows natural light to enter. In the center, there is a bright orange wall with a stainless steel elevator door. To the left of the elevator, a small, well-manicured green tree stands in a grey cylindrical planter. The floor is made of light-colored square tiles. In the background, a glass railing and other architectural details of the building are visible.

6

bonnes raisons
d'utiliser l'éclairage
naturel

1

C'est bon pour la santé

La lumière active l'horloge interne et notamment la production d'hormones agissant sur la concentration, l'apprentissage, la vigilance, l'humeur, les cycles veille-sommeil... Plusieurs études¹ démontrent que le manque de lumière a un impact sur le cycle biologique des êtres vivants et peut engendrer dépression, troubles du sommeil ou digestifs, irritabilité... Favoriser la lumière naturelle dans le monde professionnel peut réellement améliorer notre santé et notre bien-être au quotidien.



Des salariés profitant d'un bon niveau d'éclairement naturel sont moins soumis aux dépressions saisonnières, à la fatigue psychologique et au stress.

2

C'est bon pour la sécurité

La lumière naturelle est un facteur de sécurité au travail. Un bon éclairage permet d'effectuer des tâches complexes et minutieuses en améliorant les conditions de vision et en limitant la fatigue, l'une des premières causes d'accidents du travail. Des chercheurs allemands¹ ont mesuré une diminution de 50% des accidents du travail lorsque le niveau d'éclairement naturel passe de 500 à 2 000 lux.

Les exutoires de fumées (DENFC), obligatoires en toiture dans le cadre de la réglementation de sécurité incendie, constituent une partie significative des dispositifs d'éclairage zénithal. Ils sont également de précieux alliés en matière de sécurité incendie en permettant un désenfumage naturel d'une grande efficacité.

¹ Handbuch für Beleuchtung - Manuel pour l'éclairage, Lange, H - 1999.



C'est bon pour les économies d'énergie



Avec des réglementations de plus en plus exigeantes (RT 2012 et bientôt RBR 2020), où l'heure est à l'économie d'énergie, la lumière est au cœur des enjeux et des problématiques environnementales.

La démarche bioclimatique optimise l'éclairage naturel, les apports solaires et le niveau d'isolation. Pour chaque bâtiment considéré, l'indice Bbio de la RT 2012 doit être inférieur à une valeur maximale pour obtenir le permis de construire. Le Bbio est un coefficient qui dépend de la conception bioclimatique du bâtiment, indépendamment des systèmes énergétiques mis en place. Il est très sensible aux besoins d'éclairage :

$$Bbio = 2 \times (B_{chauffage} + B_{refroidissement}) + 5 \times B_{éclairage}$$

Pour maîtriser la consommation d'électricité, l'usage de l'éclairage artificiel est à modérer et à contrôler dans les bâtiments. En effet, un bon éclairage naturel, associé à un système de régulation de l'éclairage artificiel en fonction de la lumière du jour et une maintenance efficace, entraîne une diminution considérable de la consommation énergétique totale d'un édifice.

La consommation d'éclairage des bureaux peut être réduite de 30 à 50% par l'emploi de systèmes de contrôle lumineux appropriés.



4

C'est bon pour l'environnement

Pour un développement durable, il est essentiel de concevoir des édifices en cohérence optimale avec leur environnement. Et tirer le meilleur parti de la lumière naturelle est l'un des moyens privilégiés pour accorder un bâtiment aux rythmes naturels. De plus, une gestion optimisée de l'éclairage se traduit indirectement par une diminution des quantités de déchets produits par le bâtiment au cours de son fonctionnement ou lors de sa démolition.

5

C'est bon pour l'apprentissage et la productivité...



Des études américaines¹ ont montré que la lumière naturelle augmente la participation en cours, diminue l'absentéisme et favorise l'apprentissage. En Allemagne, des recherches menées dans l'industrie métallurgique² ont mis à jour l'impact économique de la lumière naturelle. Selon le chercheur H. Lange, le niveau de rebuts baisse de 3 à 8% lorsque le niveau d'éclairement évolue de 300 à 500 lux. L'efficacité dans l'exécution des tâches progresse également de 3 à 6% selon le type de tâches effectuées.

La lumière naturelle, qui a un impact positif sur le bien-être des salariés et des élèves, est aujourd'hui considérée comme un facteur de performance économique.

... Et pour les ventes



Les ventes d'un centre commercial ont progressé de 28% avec une meilleure exposition à la lumière naturelle, selon l'étude américaine Ander Study.

Des commerces plus ouverts et plus accueillants, des produits mieux valorisés, une expérience d'achat plus agréable : la lumière naturelle joue un rôle majeur dans la performance commerciale d'un point de vente.

¹ Alberta Education - 1992, Hathaway. Hargreaves, Thompson, Novitsky - 1991. Liberman study - 1991. Hathaway study - 1992.

² Handbuch für Beleuchtung - Manuel pour l'éclairage, Lange, H - 1999. Ir. W.J.M. van Bommel, Ir. G.J. van den Beld, Ir. M.H.F. van Ooijen - 2002.



6

C'est beau !

La lumière naturelle donne du relief, du volume, elle met en valeur les espaces, les objets, les personnes et les produits à la vente. Dans les choix de conception architecturale, les systèmes d'éclairage naturel, que ce soit en façade ou en toiture, participent à l'esthétique du bâtiment. Et au bien-être de ceux qui y vivent.



Latéral ou zénithal,
l'éclairage naturel a toujours une

solution

1.

Les différentes sources d'éclairage naturel

Différents éléments peuvent être utilisés dans la construction d'un bâtiment pour favoriser son éclairage naturel. Leur choix s'effectue en fonction de l'implantation, de la typologie et de l'environnement extérieur, pour lequel les facteurs tels que les masques voisins ou l'orientation au nord sont à prendre en compte afin de pallier le manque de lumière disponible.

1.1 Les solutions d'apport latéral en façade

Les baies vitrées

Pouvant être mises en œuvre sur tout type de structure avec des produits majoritairement montés d'usine, elles créent des ouvertures qui reçoivent portes ou fenêtres, à châssis fixe ou ouvrant.



Le niveau d'éclairage naturel atteint varie selon :

- . l'épaisseur des menuiseries, qui représente un obstacle au passage de la lumière naturelle,
- . le type de vitrage (clair ou teinté, réfléchissant, simple, double ou triple),
- . l'épaisseur des murs,
- . le type de mise en œuvre (en tableau, en applique),
- . la forme de l'embrasure,
- . la hauteur du linteau.

Les façades légères

Elles ferment l'enveloppe d'un bâtiment sans participer à sa stabilité et remplacent un mur. Il en existe différents types parmi lesquels la façade vitrée (mur-rideau largement constitué de vitrages) ou les systèmes de bardage emboîtables en polycarbonate.



Dans les deux cas, volets, stores, ou protections solaires doivent être mis en place pour gérer les apports de lumière, l'éblouissement ou les surchauffes estivales et restreindre la vue sur les espaces privés.

1.2 Les solutions d'apport zénithal

Les fenêtres de toit

S'intégrant au rampant de la toiture, les fenêtres de toit (en grande majorité livrées montées d'usine) sont adaptées pour les pièces sous combles qu'elles rendent beaucoup plus lumineuses.



Les lanterneaux ponctuels pour toit plat

Ils laissent pénétrer la lumière du jour dans les bâtiments à un seul niveau ou dotés d'une toiture terrasse. Montés d'usine et adaptés aux bâtiments tertiaires, commerciaux ou industriels, ils ont l'avantage d'éclairer naturellement une pièce et permettent de bien gérer l'homogénéité de l'éclairage naturel s'ils sont placés en quantité suffisante et répartis uniformément.



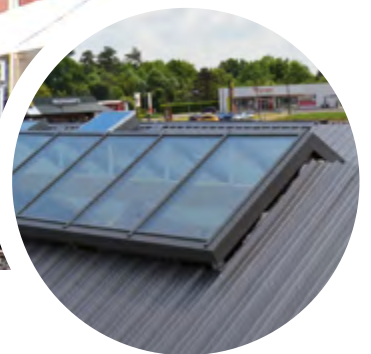
Les lanterneaux filants

Les voûtes. Constituées d'une structure aluminium cintrée et d'un remplissage cintré à froid comme le polycarbonate alvéolaire, les voûtes forment de vastes sources d'éclairage naturel zénithal, particulièrement adaptées aux grandes superficies comme les lignes de montage ou les entrepôts. Systèmes légers, elles ne nécessitent pas de renfort de structure pour supporter leur poids (contrairement aux verrières).



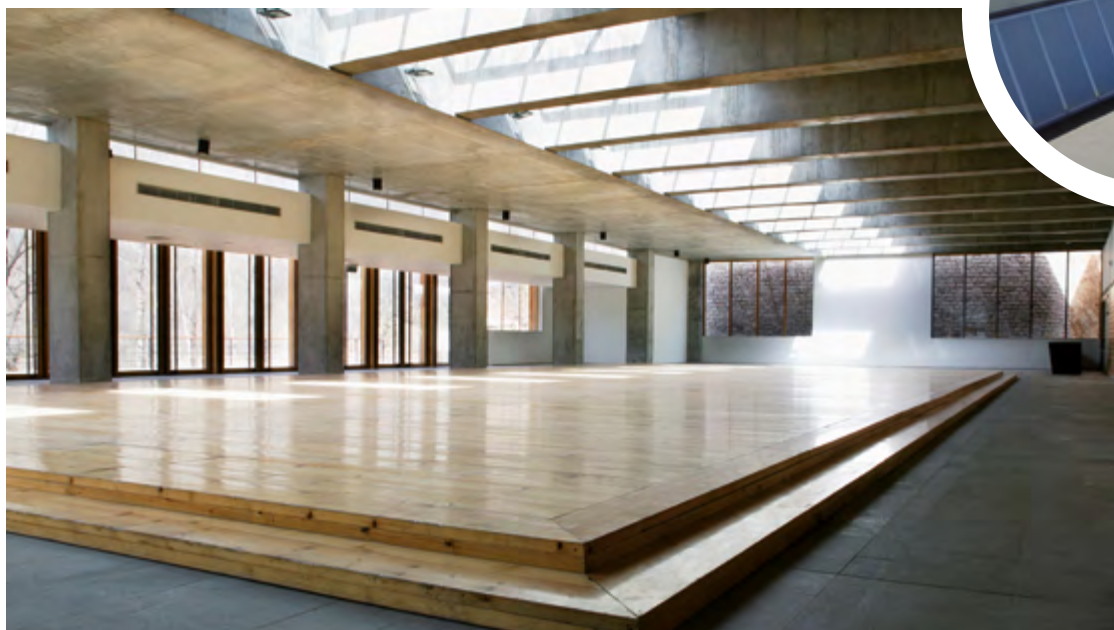
Souvent placées au niveau du faîtage, les voûtes permettent un éclairage naturel abondant, dont l'homogénéité doit être étudiée avec précision afin de ne pas créer des zones sur ou sous-éclairées. Leurs différents systèmes ou natures de remplissage permettent également d'éviter l'apport de chaleur et d'assurer une bonne isolation thermique.

Les verrières. Assemblées sur site, les verrières sont constituées d'une structure plane (en acier ou en aluminium) et d'un remplissage (généralement en double vitrage), dont la pose s'effectue toujours avec une pente. Laissant passer beaucoup de lumière naturelle, elles nécessitent une implantation optimale afin d'éviter les zones de sur-éclairage.



Les exutoires de fumée (lanterneaux ponctuels ou exutoires intégrés dans les voûtes et les verrières) participent également à l'apport de lumière naturelle. Pour toutes les solutions d'éclairage zénithal, des occultations peuvent être mises en place afin d'éviter l'éblouissement ou les surchauffes estivales.

Les sheds. Grâce à leur forme spécifique, ils offrent une lumière diffuse qui limite les risques de surchauffe en été et sont particulièrement adaptés aux bâtiments industriels et commerciaux. Livrés en kit à assembler sur site, les sheds sont constitués d'une structure plane en acier ou en aluminium, souvent orientée au nord, et sont munis d'un remplissage en verre ou en matière plastique telle que le polycarbonate alvéolaire.



Les puits de lumière

Les puits ou conduits de lumière permettent aux pièces sombres ou sans fenêtre de bénéficier d'une source d'éclairage naturel. Équipés de tubes réfléchissants, ils captent la lumière naturelle en extérieur, qu'ils redistribuent à l'intérieur de locaux par l'intermédiaire de diffuseurs.



Les clés

d'une bonne
installation

2.

Les recommandations pour une bonne installation

Les 3 règles à respecter

1

Déterminer l'autonomie de lumière naturelle

300 lux
50% du temps
sur 90% de la surface

C'est le seuil minimal préconisé dans les nombreuses études internationales qui ont été prises en compte¹ dans les travaux préparatoires pour la norme européenne PR EN 17037 "L'éclairage naturel des bâtiments".

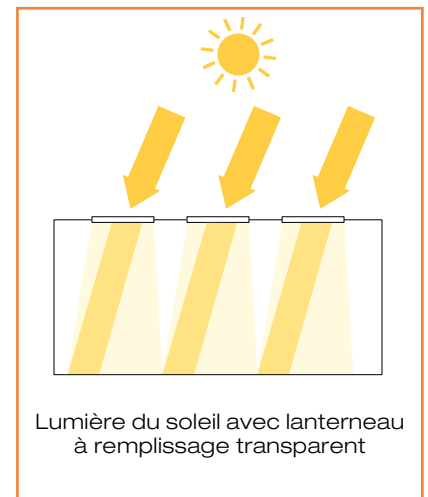
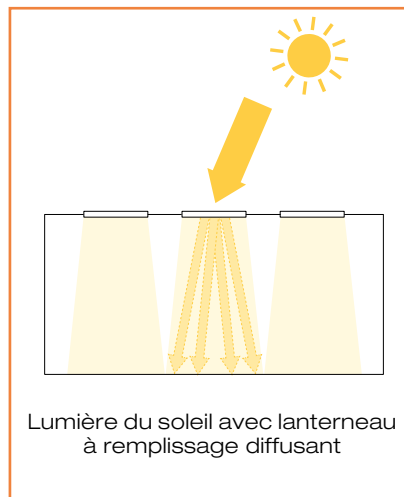
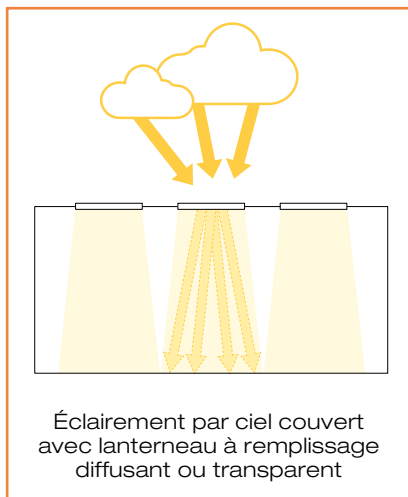
¹ Parmi lesquelles :

- Le Comité des Moyens de Mesure de la Lumière du Jour (DMC) de l'Association des Études d'Ingénierie de l'Éclairage de l'Amérique du Nord (IESNA) considère un endroit comme lumineux à partir de 300 lux pendant plus de 50% de l'année et recommande un niveau d'éclairage de 300 lux pour les bureaux, salles de classes et espaces de lecture. Il s'appuie sur des observations d'experts et des enquêtes auprès d'occupants de 61 locaux bénéficiant de la lumière du jour.
- L'autonomie de 300 lux donne une bien meilleure corrélation avec l'appréciation de zone de lumière du jour que le Facteur de Lumière du Jour, selon C.F. REINHARDT and D.A. WEISSMAN. The daylight area Building and Environment, 50(0) : 155-164, 4 2012.
- Lorsque les participants peuvent choisir leur environnement visuel en lumière du jour, ils choisissent un niveau d'éclairage sur le plan de travail d'environ 300 lux selon A.D. GALASIU et J.A. VEITCH. Energy and Buildings, 38(7) : 728-742, 2006.
- 300 lux est maintenant un niveau reconnu d'éclairage naturel. Le document de Christoph REINHARDT de 2006 améliore notre compréhension du rôle et de la pratique de l'évaluation de la lumière du jour dans le processus de conception des bâtiments. C.F. REINHARDT and A. FITZ. Energy and Buildings, v.38, no.7, July 2006.
- 300 lux est considéré par la norme européenne EN 12 464-1 et les préconisations de l'INRS, comme un minimum de niveau d'éclairage du plan de travail pour avoir une bonne vision et éviter la fatigue visuelle pour les travaux courants. (Cette valeur est également reprise en référence dans la RT 2012 dans l'arrêté du 20 juillet 2011 paragraphe 9.1.3.5).
- Selon les résultats des travaux préparatoires pour la norme européenne en cours d'élaboration, il faut fixer un minimum de 50% du temps de travail éclairé naturellement de manière suffisante pour la santé et l'efficacité des personnes sur au moins 90% de la zone de travail.

2

Assurer une bonne uniformité d'éclairage naturel

Le dimensionnement des dispositifs d'éclairage naturel s'effectue à partir des objectifs de Facteur de Lumière du Jour (FLJ), qui sont calculés à partir de bases de données météorologiques. Il est possible d'utiliser les valeurs d'éclairement diffus ou global. Pour l'éclairement diffus, seule la lumière du ciel est prise en compte. Pour l'éclairement global, la lumière du ciel et celle directe du soleil sont prises en compte. Avec un remplissage diffusant, il est possible d'utiliser l'éclairement global, puisque la partie des rayons du soleil est répartie par le remplissage diffusant.



Une répartition non homogène provoque une situation d'inconfort dans le local et ne permet pas de piloter efficacement l'éclairage artificiel en fonction de l'éclairage naturel.

3

Définir les surfaces éclairantes nécessaires

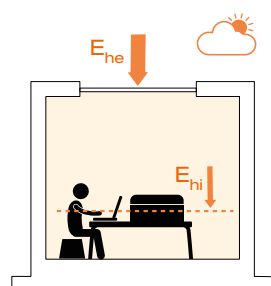
Les performances de transmission de la lumière naturelle des lanterneaux doivent être prises en compte pour la détermination des surfaces à installer et le choix des types de lanterneaux. En général, la transmission lumineuse des lanterneaux est comprise entre 30 et 55% pour des remplissages opaques.

2.1 Déterminer l'autonomie de lumière naturelle

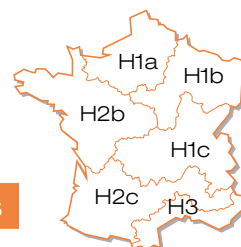
Méthode pour la définir : le Facteur de Lumière du Jour

Selon la zone climatique, il est possible de déterminer, grâce aux données des fichiers météorologiques SATEL-LIGHT, l'objectif de Facteur de Lumière du Jour (FLJ) afin d'obtenir 300 lux pendant 50% du temps grâce aux seuls apports d'éclairage naturel. Le temps d'occupation est considéré entre 6h et 22h pendant 250 jours de l'année.

Le Facteur de Lumière du Jour (FLJ) en un point intérieur d'un bâtiment est le rapport de l'éclairement naturel reçu en ce point à l'éclairement extérieur simultané sur une surface horizontale, en site parfaitement dégagé, par ciel couvert. $FLJ = E_{\text{intérieur}} / E_{\text{extérieur}} (\%)$.



$$FLJ = \frac{E_{\text{intérieur}} (E_{hi})}{E_{\text{extérieur}} (E_{he})} \times 100\%$$



Facteur de Lumière du Jour selon les zones géographiques

Pour les lanternes à remplissage diffusant (opale) avec éclairage extérieur global

Ville	Zone climatique	Latitude	Éclairement extérieur global 50% du temps annuel entre 6h et 22h	FLJ minimum pour obtenir 300 lux pendant 50% du temps	FLJ recommandé pour obtenir 500 lux pendant 50% du temps
STRASBOURG	H1b	48,6	10 800 lux	2,8%	4,6%
PARIS	H1a	48,8	12 200 lux	2,5%	4,1%
NANTES	H2b	47,2	13 700 lux	2,2%	3,7%
LYON	H1c	45,8	13 200 lux	2,3%	3,8%
TOULOUSE	H2c	43,6	15 300 lux	2,0%	3,3%
MARSEILLE	H3	43,3	19 700 lux	1,5%	2,5%

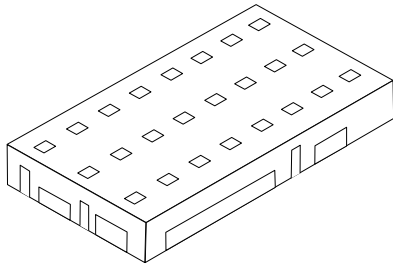
Par exemple pour Paris, le FLJ minimum pour obtenir un éclairage naturel intérieur de 300 lux pendant 50% du temps d'occupation est de 2,5% et de 4,1% si l'on souhaite atteindre 500 lux, la recommandation de la future norme européenne PR EN 17037.

Pour les lanternes à remplissage transparent avec éclairage extérieur diffus

Ville	Zone climatique	Latitude	Éclairement extérieur global 50% du temps annuel entre 6h et 22h	FLJ minimum pour obtenir 300 lux pendant 50% du temps	FLJ recommandé pour obtenir 500 lux pendant 50% du temps
STRASBOURG	H1b	48,6	9 200 lux	3,3%	5,4%
PARIS	H1a	48,8	9 600 lux	3,1%	5,2%
NANTES	H2b	47,2	10 400 lux	2,9%	4,8%
LYON	H1c	45,8	10 000 lux	3,0%	5,0%
TOULOUSE	H2c	43,6	10 600 lux	2,8%	4,7%
MARSEILLE	H3	43,3	10 600 lux	2,8%	5,1%

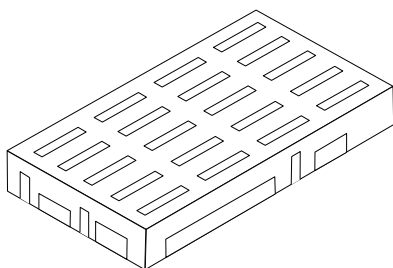
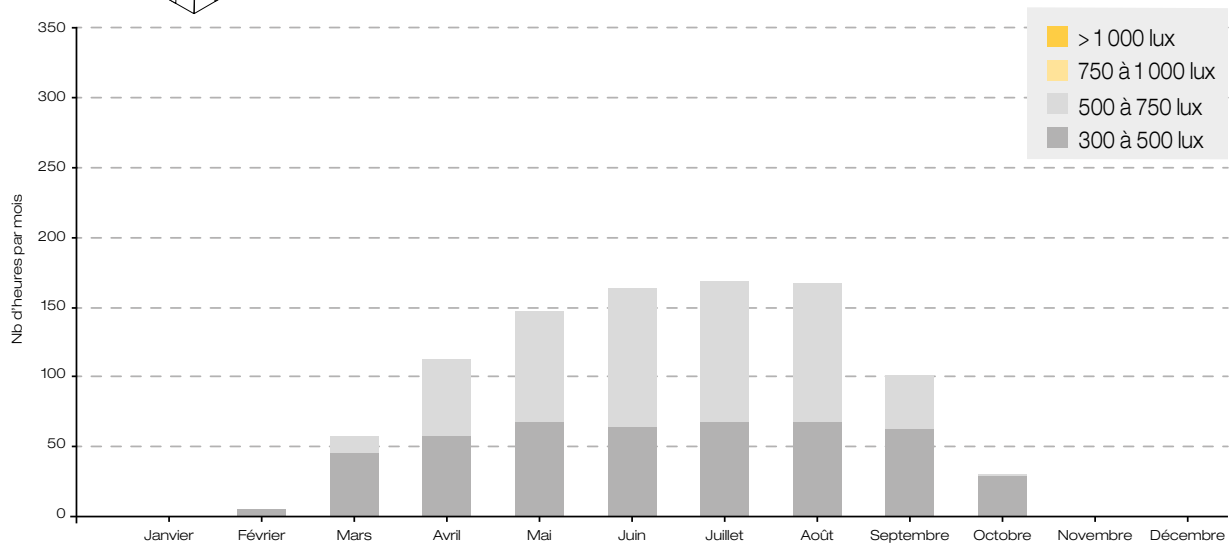
Exemples de résultats pour un local commercial de 5 000 m² à Paris

Autonomie en lumière naturelle intérieure en heures/mois



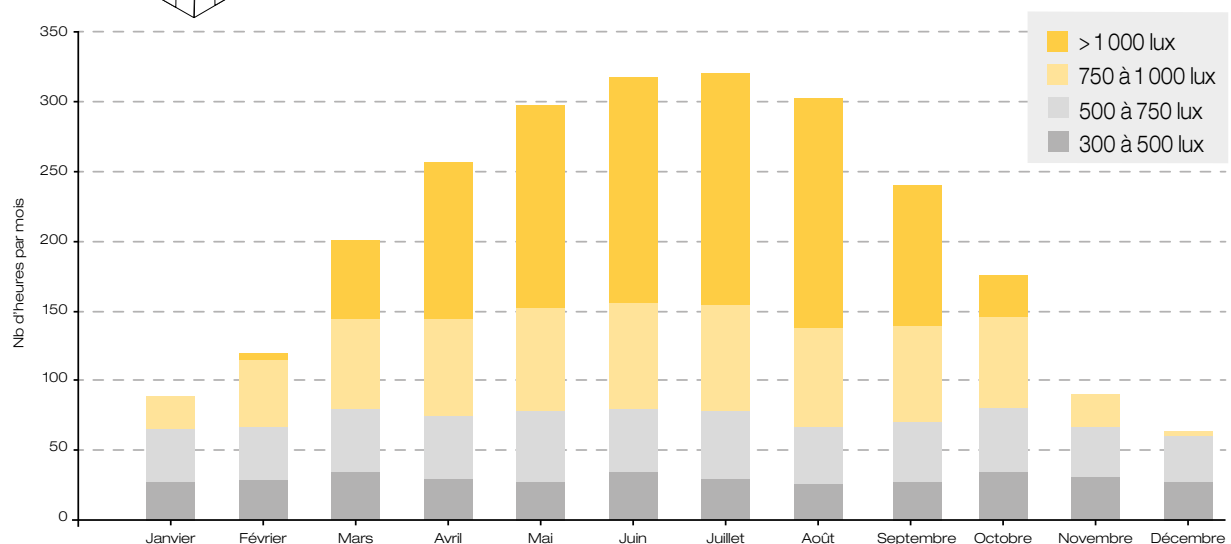
FLJ de 0,7%, soit 3% de SGL¹ :
autonomie insuffisante

En juin, seulement 160h de disponibilité à 300 lux et pas de disponibilité à 1 000 lux. En février, seulement 10h à 300 lux.



FLJ de 2,5%, soit 11% de SGL¹ :
autonomie suffisante

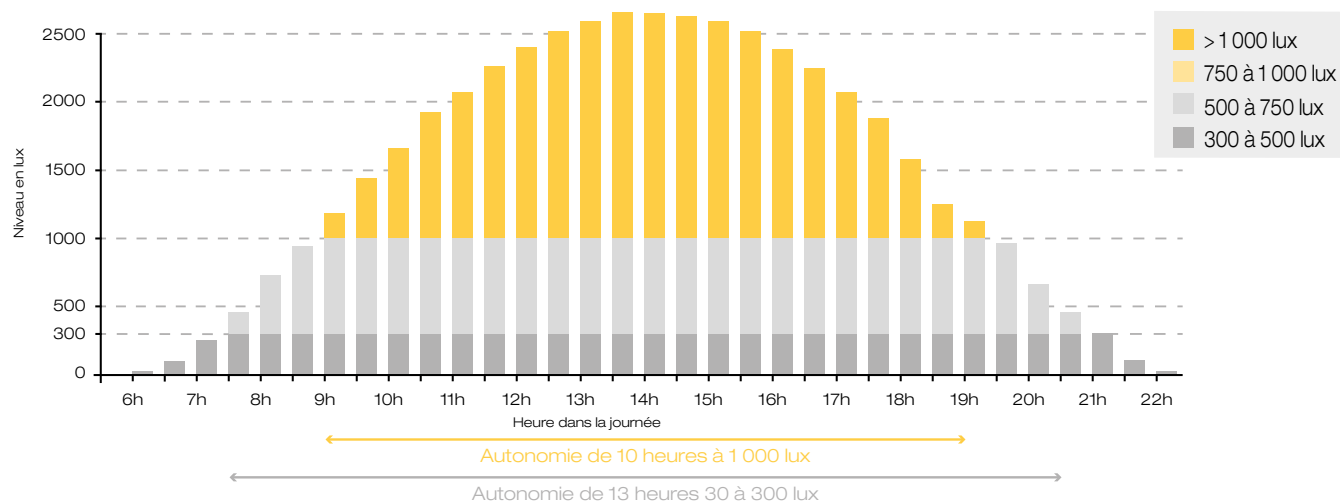
En juin, plus de 300h de disponibilité à 300 lux et plus de 180h à 1 000 lux. En février, plus de 130h à 300 lux.



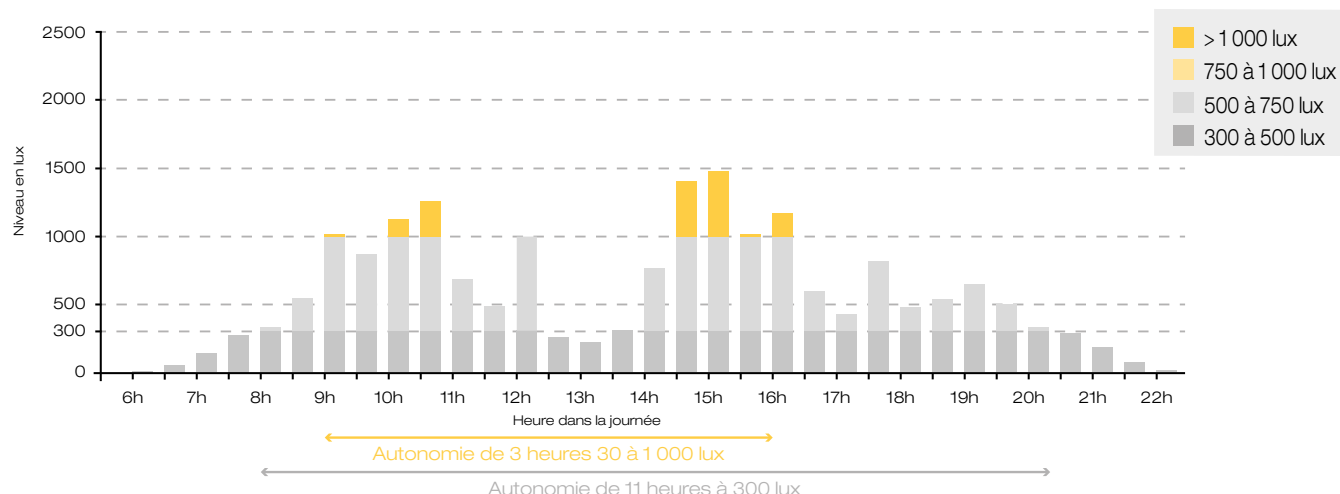
¹ SGL : Surface Géométrique de Lumière.

Variation des gains d'éclairage de ce local commercial de 5 000 m² à Paris (FLJ de 2,5%, soit 11% de SGL¹) en fonction des saisons et des conditions climatiques

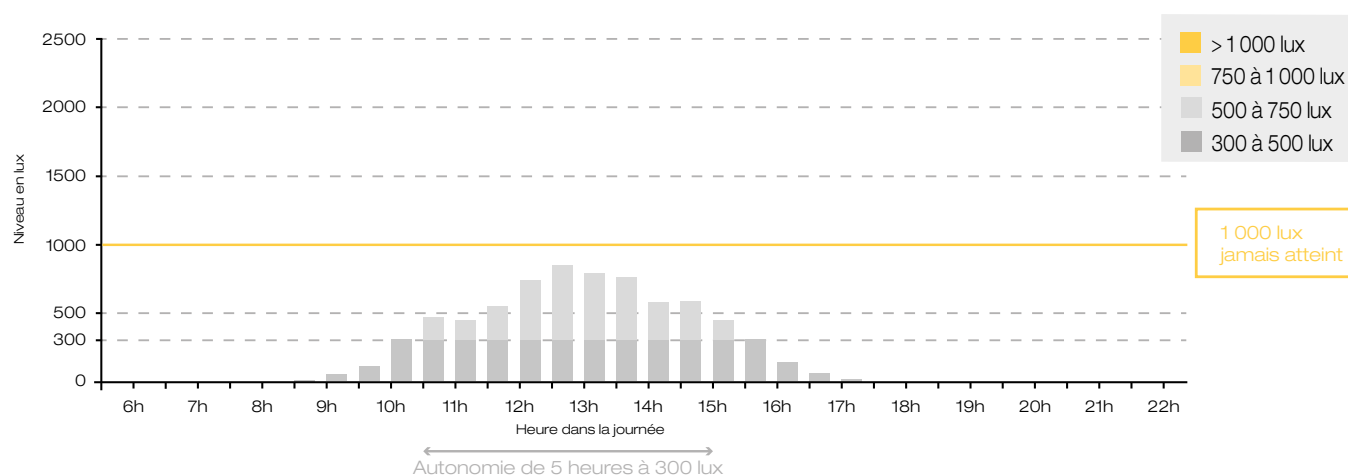
Le 20 juin par ciel clair



Le 21 juin par ciel couvert



Le 26 novembre par ciel clair



¹ SGL : Surface Géométrique de Lumière.



Bien répartir l'éclairage naturel,
la meilleure garantie de
confort

2.2 Assurer une bonne uniformité d'éclairage naturel

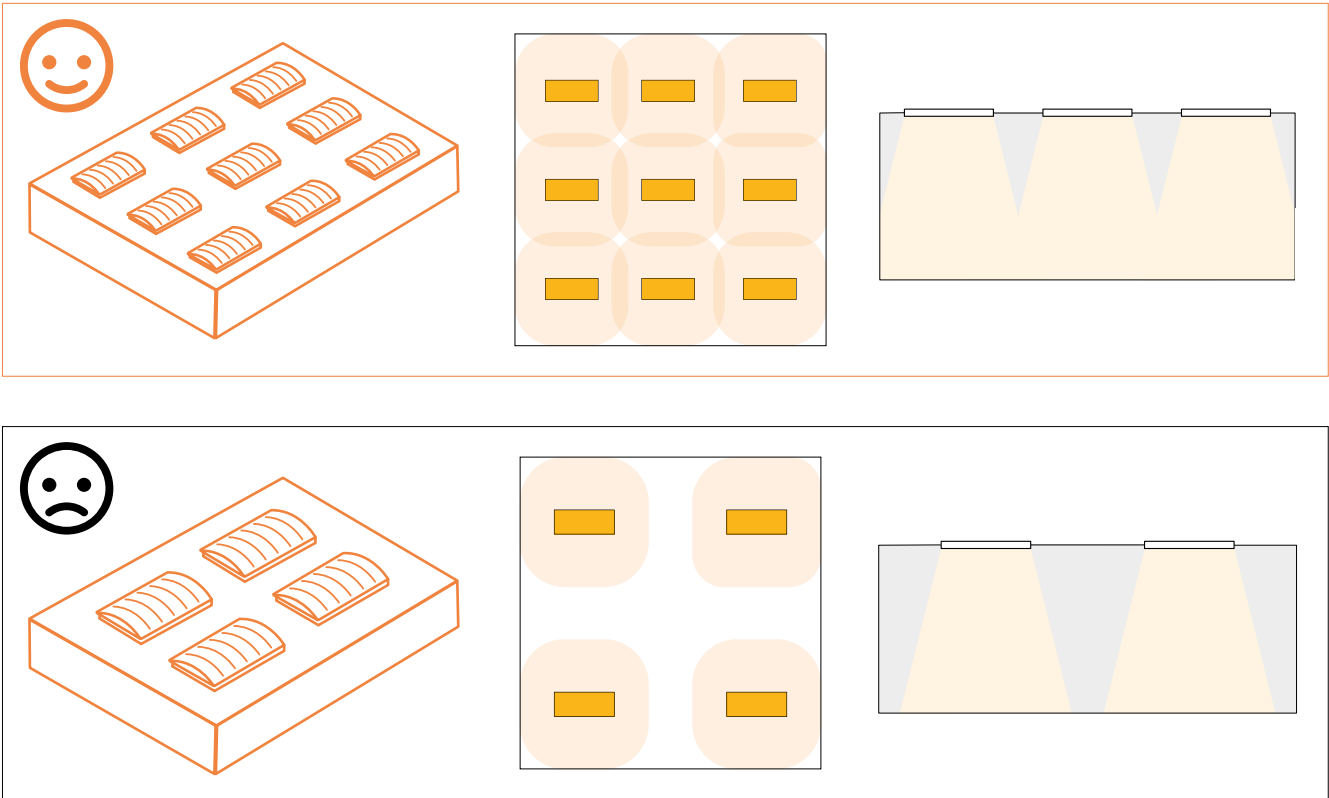
Pour assurer une bonne uniformité d'éclairage naturel, l'implantation des lanterneaux d'éclairage zénithal doit respecter les conditions suivantes de surface maximale éclairée par un lanterneau en fonction de la hauteur sous plafond. Cela permet de déterminer le nombre de lanterneaux nécessaire et les calculs des pages suivantes donneront les surfaces lumière de chaque lanterneau.

Par exemple, un bâtiment de 1 000 m² et de 8 m de hauteur nécessite un minimum de **15 lanterneaux** répartis régulièrement sur la toiture.

Hauteur sous toiture (en m)	Surface maximum éclairée par le lanterneau (en m ²)	Nombre minimum de lanterneaux pour 1 000 m ²
4	30	34
5	40	25
6	50	20
7	60	17
8	70	15
9	80	13
10	90	12
11	100	10
12	100	10

L'implantation optimale pour une bonne uniformité

Il est recommandé d'espacer les lanterneaux régulièrement pour obtenir une bonne uniformité d'éclairage naturel sur la surface de travail (généralement 8 m au-dessus du sol).



2.3 Définir les surfaces éclairantes nécessaires

Pour vous aider à dimensionner les installations d'éclairage zénithal dans vos bâtiments, le GIF Lumière a mis au point un logiciel en partenariat avec INGÉLUX Consultants, bureau d'études spécialisé dans le domaine de l'éclairage artificiel et naturel. Vous pouvez consulter et utiliser gratuitement ce logiciel sur le site du GIF Lumière : www.gif-lumiere.com.

La méthode simplifiée de pré-dimensionnement GIF Lumière

Les approches de dimensionnement suivantes permettent d'obtenir :

- une autonomie annuelle d'éclairage naturel intérieur de 300 lux pendant 50% du temps,
- un Facteur de Lumière du Jour objectif selon les zones géographiques,
- pour un éclairage général d'ambiance dans un local vide,
- avec des parois dont les facteurs de réflexion lumineuse sont de 60% pour les plafonds, 50% pour les murs et 20% pour les sols,
- avec un facteur d'empoussièrement correct.

Le calcul simplifié de la surface de lumière nécessaire

Après avoir défini le nombre de lanterneaux selon le bâtiment (§2.2 page précédente), la formule suivante vous permet de définir la surface totale lumière des lanterneaux nécessaire selon les travaux du syndicat européen Eurolux pour des hauteurs de locaux entre 4 et 10 m, équipés de lanterneaux d'éclairage zénithal de dimensions lumière¹ minimum de 1,2 x 1,2 m et de hauteur de costière maxi de 500 mm.

$$SGL = \frac{2,3 \text{ FLJ}}{TV}$$

SGL : Surface Géométrique de Lumière

FLJ : Facteur de Lumière du Jour

TV : Facteur de transmission lumineuse du remplissage (τ_{D65})

¹ Dimensions lumière : dimensions de la projection horizontale de la plus petite ouverture lumière d'un lanterneau.

Impact selon la zone géographique et les matériaux choisis

La surface géométrique de lumière varie selon la zone géographique et son Facteur de Lumière du Jour, mais également en fonction du facteur de transmission lumineuse des matériaux choisis.



Partie moyenne de l'Europe (latitude > 45°/50°) : Strasbourg

FLJ minimum : 2,8%

TV 52% (polycarbonate 16 mm opale)

→ % SGL : 12%

TV 30% (polycarbonate alvéolaire 32 mm opale)

→ % SGL : 21%

Sud de la partie moyenne de l'Europe (latitude > 40°/45°) : Marseille

FLJ minimum : 1,5%

TV 52% (polycarbonate 16 mm opale)

→ % SGL : 7%

TV 30% (polycarbonate alvéolaire 32 mm opale)

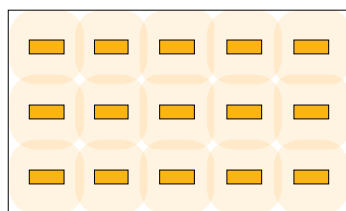
→ % SGL : 12%

Exemple d'application

Partie moyenne de l'Europe (latitude > 45°/50°) : Strasbourg

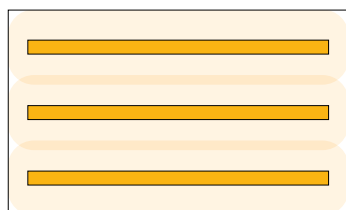
FLJ : 2,8%. TV : 52%. % Surface Géométrique de Lumière : 12,4%

Surface Géométrique de Lumière pour un local de 1 000 m² et de 8 m de hauteur : 124 m²



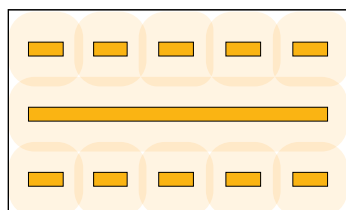
1/ Avec 15 lanternes ponctuelles ou filants :

- . Surface Géométrique de Lumière d'un lanterneau 124 / 15 = 8,27 m²
- . Choix de la dimension du lanterneau : 2 m x 4,13 m



2/ Avec des voûtes entre chaque mur (2 m du bord du mur) :

- . 3 lanternes filants de longueur : 40 - (2 x 2) = 36 m
- . Corde de la voûte : 124 / (36 x 3) = 1,2 m



3/ Avec une voûte en faitage et des lanternes ponctuelles ou filants :

- . 2 rangées de 5 lanternes de dimension 2 m x 4,13 m
- . 1 voûte de longueur 36 m et de corde $(124 - 5 \times 2 \times 2 \times 4,13) / 36 = 1,15$ m

Cette méthode simplifiée de calcul de la surface de lumière donne une approche conservative pour trouver une bonne solution d'éclairage naturel zénithal dans les bâtiments.

Si les résultats de calcul de lumière du jour avec d'autres méthodes détaillées ou par logiciel donnent des résultats qui diffèrent de + ou - 30%, nous vous conseillons de vérifier vos calculs.

2.4 Logiciels de calcul de lumière

Il existe aujourd'hui différents logiciels de simulation de lumière du jour qui sont utilisés par les architectes et par les bureaux d'études thermiques et d'éclairage. Ils font partie intégrante du processus de conception d'un bâtiment.

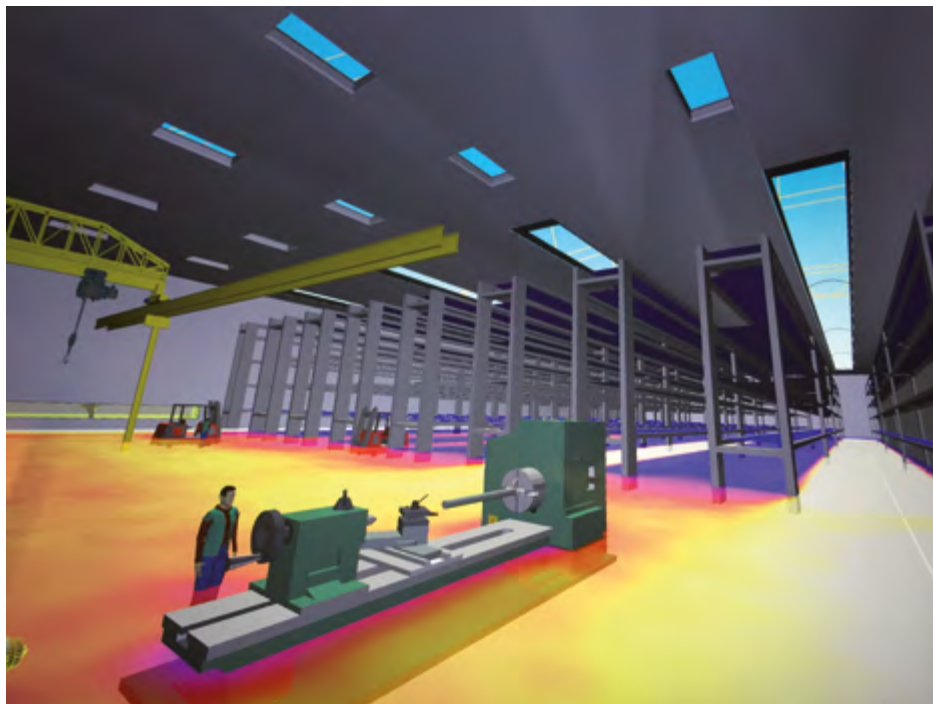
Ces outils ne donnent pas de solution mais permettent seulement de calculer une ou plusieurs configurations de bâtiment équipé de ses ouvertures de prise de jour. **Une démarche intéressante est donc de commencer par un pré-dimensionnement à l'aide d'une méthode simplifiée**, par exemple celle présentée dans ce guide. Elle permet de réduire le nombre de simulations à effectuer afin d'obtenir une configuration de bâtiment conforme aux objectifs.

Pour un résultat réaliste et éviter de trop grands écarts avec la réalité, certains paramètres doivent être renseignés très précisément :

- les facteurs de réflexion des parois,
- les propriétés des matériaux translucides / diffusants,
- bâtiment vide / bâtiment meublé : il est conseillé de faire une étude bâtiment vide.

De nombreux logiciels existent sur le marché, utilisant différents modèles ou méthodes de calculs (radiosité, lancé de rayons). En voici quelques-uns : Archiwizard, DIALux EVO 6, Dial + Radiance, IESve, Relux, Ecotect, Velux Daylight Visualizer.

Ces logiciels donnent des indicateurs différents comme résultat d'une simulation : des rendus réalistes pour un angle de vue donné, des niveaux d'éclairement sur une série de points d'un plan donné ou une surface. **Pour un résultat exploitable, la donnée la plus importante est le FLJ moyen sur une surface de référence**. Il est également intéressant d'étudier la répartition de la lumière dans l'espace afin de concevoir un éclairage le mieux réparti possible.



L'éclairage naturel en toute sécurité



3.

Normes & référentiels

3.1 Les textes réglementaires

• **Réglementation thermique 2012 (RT 2012)** : applicable aux bâtiments d'habitation, tertiaires et industriels (neufs) depuis l'arrêté du 28/12/2012, elle porte sur les consommations annuelles globales d'énergie des 5 usages réglementés. Cette exigence globale s'exprime en kWh d'énergie primaire, et est modulable selon le type de bâtiment, sa localisation, son altitude, les émissions de GES. L'indice Bbio de la RT 2012 permet de caractériser l'impact de la conception bioclimatique du bâtiment. La démarche bioclimatique favorise les apports de lumière naturelle.

• **Arrêté du 13 juin 2008** : s'applique aux très grosses rénovations, exigences similaires à celles de la RT 2005.

• **Code du travail et aide mémoire juridique de l'INRS TJ 13 - 12/2005 (Nouveaux N° R 4213-1 à 4 et R 4223-2 à 11 depuis 03/2008)** :

. **Article R 4213-2** : "Les bâtiments doivent être conçus et disposés de manière que la lumière naturelle puisse être utilisée pour l'éclairage des locaux destinés à être affectés au travail, sauf dans les cas où la nature technique du travail s'y oppose".

. **Article R 4223-4** :

Éclairage général

"Pendant la présence du personnel dans les lieux (...) de travail, les niveaux d'éclairement mesurés au plan de travail ou, à défaut, au sol, doivent être au moins égaux aux valeurs indiquées dans le tableau ci-dessous".

Éclairage des zones de travail (Circulaire du 11/04/84)

Éclairement minimal du plan de travail, exemples de niveaux mini selon norme NF X 35-103 :

Mécanique moyenne	Travail de petites pièces	Mécanique fine	Électronique, contrôles	Laboratoires
200 lux	300 lux	400 lux	600 lux	800 lux

. **Article R 4223-6** : "En éclairage artificiel, le rapport des niveaux d'éclairement (...) entre la zone de travail et l'éclairement général doit être compris entre 1 et 5". Si un niveau de 1 000 lux est exigé sur le plan de travail, l'éclairage général ne doit pas être inférieur à 200 lux.

. **Article R 4223-7** : "Les postes de travail situés à l'intérieur des locaux (...) doivent être protégés du rayonnement solaire gênant soit par la conception des ouvertures, soit par des protections fixes ou mobiles appropriées".

3.2 Les normes

• **Norme NF EN 12464-1 - Éclairage intérieur des lieux de travail** : elle indique des niveaux d'éclairements moyens "à maintenir" (Em), c'est-à-dire qui doivent pouvoir être atteints quel que soit l'âge de l'installation. L'éblouissement d'inconfort (produit par des surfaces brillantes dans le champ visuel) peut provenir directement ou par réflexion des luminaires ou des fenêtres. Il est déterminé par le taux d'éblouissement unifié, UGR. On y trouve également les valeurs recommandées pour l'uniformité (U₀) et l'indice de rendu des couleurs (R_a).

• **Norme NF EN 15193 - Performance énergétique des bâtiments, exigences énergétiques pour l'éclairage** : elle spécifie la méthodologie de calcul permettant d'évaluer la quantité d'énergie utilisée pour l'éclairage intérieur d'un bâtiment (existant, neuf ou rénové). Et fournit également une méthodologie pour le calcul de la consommation instantanée d'énergie d'éclairage permettant d'estimer la performance énergétique globale du bâtiment.

• **Norme PR EN 17037 - Éclairage naturel des bâtiments** : elle donne des recommandations minimales permettant d'obtenir une impression subjective de clarté à l'intérieur des bâtiments grâce à la lumière naturelle. Elle fournit des indicateurs et des informations pour exploiter l'éclairage naturel sans diminuer le niveau de confort pour les occupants. Elle traite en particulier du niveau en FLJ, de la vue sur l'extérieur, de l'ensoleillement direct et de l'éblouissement.

3.3 Les labels

Les labels environnementaux pour les bâtiments très performants mettent en avant le recours à la lumière naturelle grâce à l'utilisation d'indicateurs spécifiques. Pour évaluer l'apport sur l'autonomie en lumière naturelle, il est possible de s'appuyer sur :

- le label **BREEAM** (indicateur "Hea 01 Visual comfort", obj. Facteur de Lumière du Jour 2% sur 80% de la surface),
- le label **LEED** (indicateur EQc8.1, obj. 108 lux sur 75 à 90% de la surface),
- le label **HQE** (indicateur : Facteur de Lumière du Jour, mini 2,5% dans les bureaux et 2% dans l'enseignement),
- le référentiel **WELL** définit 7 facteurs essentiels au bien-être des salariés, dont la lumière.

La lumière,

première source naturelle d'énergie...



4.

Bilan énergétique positif de l'éclairage naturel

4.1 Étude d'impact énergétique de l'éclairage naturel par TRIBU ÉNERGIE

Bureau d'études de référence dans le domaine de l'énergie et partenaire des pouvoirs publics pour la mise en place des dispositifs réglementaires liés à l'énergie dans les bâtiments, **TRIBU ÉNERGIE** a réalisé pour GIF Lumière une étude d'impact de l'éclairage naturel dans le bilan énergétique des bâtiments.

Cette étude a porté sur un bâtiment type RT 2012 au sein de 2 zones géographiques :

- . H1a (Paris)
- . H3 (Marseille)

Elle a permis de montrer **les gains énergétiques d'un bon éclairage naturel** selon différents types de configuration, dont vous trouverez les résultats dans les pages suivantes.

À retenir

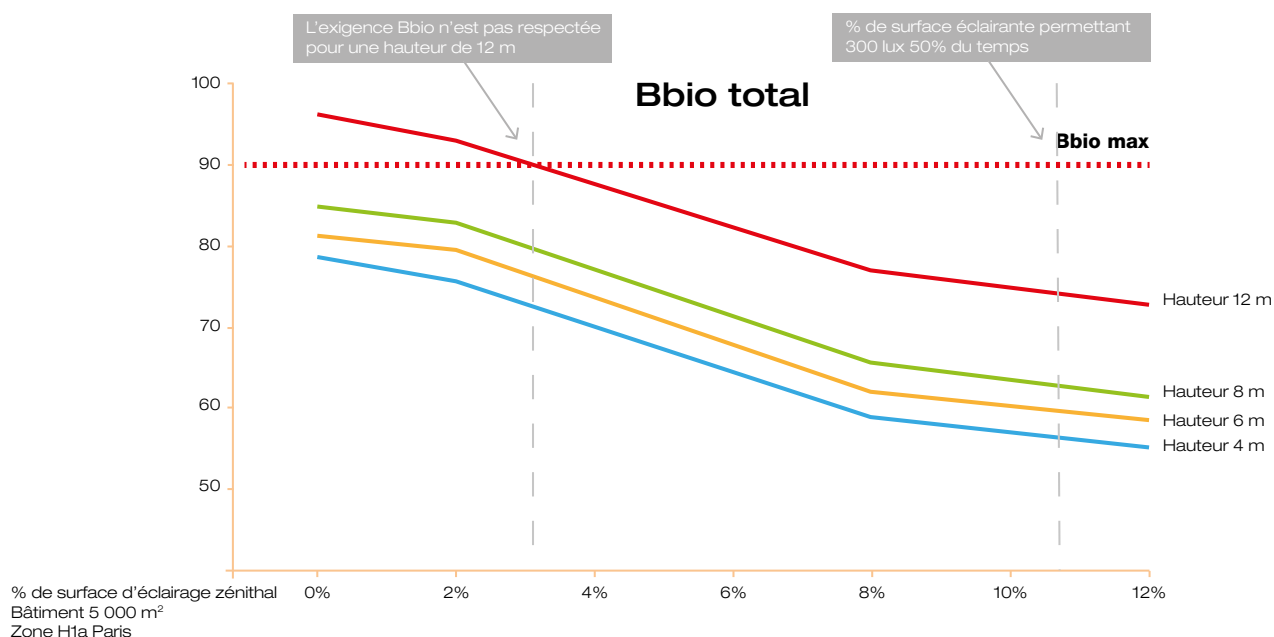
La recommandation du GIF Lumière d'assurer à l'intérieur d'un bâtiment une autonomie d'éclairage naturel pendant **50% du temps avec un niveau de 300 lux permet d'optimiser la consommation énergétique.**

Comment réaliser des économies d'énergie avec la lumière naturelle ?

Incidence du pourcentage de lumière sur le Bbio total

Le Bbio est une innovation majeure de la RT 2012 par rapport à la RT 2005. Il valorise la qualité intrinsèque de la conception du bâti. La démarche bioclimatique optimise l'orientation, les apports solaires, l'éclairage naturel, le niveau d'isolation, etc.

La démarche est basée sur la méthode de calcul réglementaire RT 2012 avec le moteur Th-BCE du CSTB.



Le nombre de lanterneaux d'éclairage zénithal influe directement sur le $Bbio_{total}$ du bâtiment de référence¹. **Le $Bbio_{total}$ de chaque bâtiment diminue avec le pourcentage croissant de lumière** quelle que soit la hauteur du bâtiment. Sans l'apport de lumière dans le bâtiment type d'une hauteur de 12 m, le $Bbio_{max}$ ne peut pas être respecté.

Le seuil minimum de **300 lux avec 50% du temps en autonomie de lumière naturelle** permet d'atteindre un niveau satisfaisant de confort et une économie réelle sur les besoins. Cet objectif correspond pour la zone H1a (Paris) à 11% de lumière zénithale et 7% pour la zone H3 (Marseille).

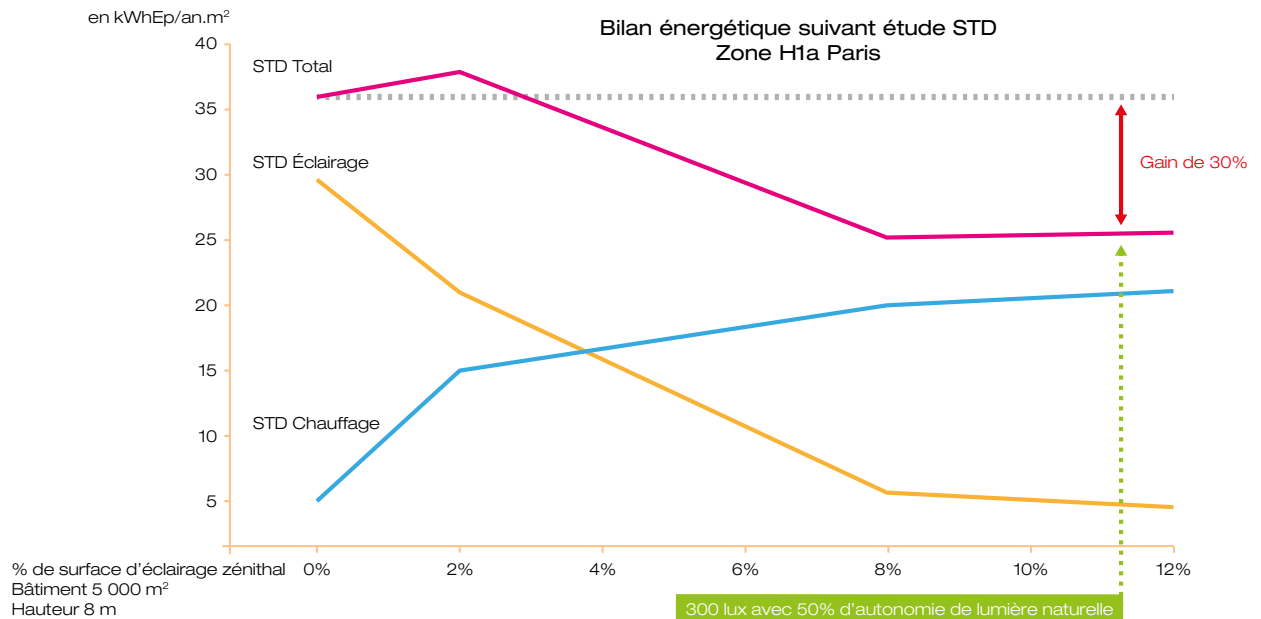
À retenir Le respect des 300 lux pendant 50% du temps permet de réaliser, selon les types de locaux et de région climatique, **des gains de Cep² de 10 à 20%.**

¹ Bâtiment de 5 000 m² en zone H1a. Même conséquence sur la zone H3.

² Coefficient d'Énergie Primaire. L'indice Cep est un indice objectif de la RT 2012, en kWhEp/m².an, qui caractérise les consommations d'énergie primaire des équipements du bâtiment (chauffage, climatisation, eau chaude sanitaire, éclairage, auxiliaires).

Bilan énergétique par Simulation Thermique Dynamique

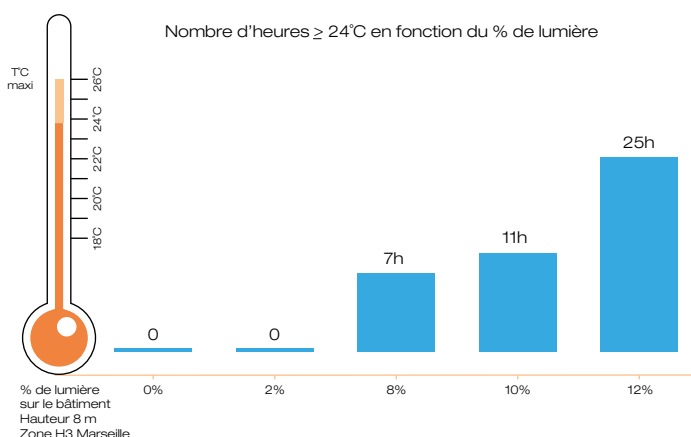
Pour compléter cette analyse, il est nécessaire de calculer les consommations de chauffage et d'éclairage et d'évaluer le confort d'été par une étude de Simulation Thermique Dynamique (STD).



L'augmentation de surface éclairante, moins isolante que les parois opaques, augmente les consommations de chauffage mais diminue les consommations d'éclairage artificiel. **Le bilan est néanmoins favorable** avec l'objectif d'autonomie de 300 lux 50% du temps. La mise en place d'éclairage naturel permettant d'assurer une autonomie de 50% du temps à 300 lux permet **un gain énergétique de 30%** par rapport à une configuration sans éclairage naturel. L'étude STD montre que les calculs RT 2012 surestiment les consommations énergétiques et **sous-estiment les gains réalisables par l'apport d'éclairage naturel en toiture**.

À retenir

L'augmentation du pourcentage d'éclairage naturel améliore le bilan énergétique du local. En fonction de la zone climatique et de la hauteur du bâtiment, **le gain énergétique est compris entre 20 et 60%**. La baisse des besoins énergétiques d'éclairage artificiel est également significative et plus importante que dans le calcul réglementaire.



La température de 26°C n'est jamais dépassée, ni en zone H1a (Paris) ni en zone H3 (Marseille), ce qui correspond à un **niveau très performant d'après le référentiel HQE "bâtiments tertiaires - 09/ 2011"**.

De plus, selon l'activité du bâtiment, il existe de nombreuses solutions (protections solaires, stores, remplissages spécifiques...) permettant de limiter davantage l'apport calorifique solaire.

4.2 Le lanterneau d'éclairage zénithal désormais éligible aux CEE

Parce qu'ils permettent à la lumière naturelle de pénétrer dans les bâtiments, les dispositifs d'éclairage zénithal, couramment appelés lanterneaux, font désormais partie des **procédés reconnus pour la délivrance des Certificats d'Économies d'Énergie (CEE)**.

Le dispositif des CEE repose sur une obligation faite aux vendeurs d'énergie, appelés "obligés", d'inciter leurs clients à réaliser des économies d'énergie selon des objectifs fixés par les pouvoirs publics. Exprimés en kWh cumac¹ et imposés au prorata des ventes d'énergie, les CEE sont délivrés aux obligés pour chaque action d'économie d'énergie prouvée. Le non-respect de l'obligation par les acteurs obligés entraîne une **pénalité libératoire de deux centimes d'euro par kWh manquant**.

Le CEE BAT-EQ-129 pour bâtiments tertiaires

4. **Durée de vie conventionnelle** : 20 ans.

5. **Montant de certificats en kWh cumac¹** :

Montant en kWh cumac par m²			X	Aire de la projection horizontale de la surface éclairante de la paroi translucide (A _{t flat}) de l'ensemble des lanterneaux installés en m²
Zone climatique	Secteur d'activité			S
	Commerces	Autres secteurs		
H1	9 500	3 400		
H2	10 800	4 000		
H3	16 000	6 400		

L'aire de la projection horizontale de la surface éclairante de la paroi translucide ($A_{t\text{ flat}}$) est égale à la projection horizontale de la plus petite section de passage de la lumière naturelle.

Le CEE IND-BAT-113 pour bâtiments industriels

4. **Durée de vie conventionnelle** : 20 ans.

5. **Montant de certificats en kWh cumac¹** :

Zone climatique	Montant en kWh cumac par m ²	X	Aire de la projection horizontale de la surface éclairante de la paroi translucide ($A_{t\text{ flat}}$) de l'ensemble des lanterneaux installés en m ²
H1	3 400		
H2	4 000		
H3	6 400		S

L'aire de la projection horizontale de la surface éclairante de la paroi translucide ($A_{t\text{ flat}}$) est égale à la projection horizontale de la plus petite section de passage de la lumière naturelle.

¹ kWh cumac : économie d'énergie en kWh sur la durée de vie du produit avec coefficient d'actualisation.

En pratique

Pour équiper en lanterneaux l'équivalent de 10% de la toiture d'un bâtiment d'une surface de 5 000 m² de plein pied, situé en zone climatique H2, il faut compter environ 84 lanterneaux de 2 mètres sur 3, qui offriront 504 m² de Surface Géométrique de Lumière (SGL). Selon la fonctionnalité du lieu, leur équivalent en kWh cumac diffère.



Le potentiel des lanterneaux dans une surface commerciale

La fiche d'opération standardisée BAT-EQ-129 pour bâtiments tertiaires prévoit que chaque m² de SGL obtenu par un lanterneau en zone H2 donne droit à un CEE de 10 800 kWh cumac.

Ainsi, l'installation sur ce bâtiment de **504 m² de lanterneaux** générera l'équivalent de **5,44 GWh cumac¹**.



Le potentiel des lanterneaux dans un bâtiment industriel

La fiche d'opération standardisée IND-BAT-113 pour bâtiments industriels prévoit que chaque m² de SGL obtenu par un lanterneau en zone H2 donne droit à un CEE de 4 000 kWh cumac.

Ainsi, l'installation sur ce bâtiment de **504 m² de lanterneaux** générera l'équivalent de **2,02 GWh cumac¹**.

¹ 1 GWh cumac (Giga Watt heure cumac) = 1 000 000 kWh cumac.

4.3 Gains énergétiques

La lumière naturelle est une source gratuite et inépuisable d'énergie et **les dispositifs d'éclairage naturel zénithal permettent un apport net d'énergie** dans les locaux.

- Pour calculer le bilan énergétique global selon les STD, nous avons pris en compte les gains d'éclairage artificiel, les apports thermiques solaires d'hiver, les pertes thermiques par conduction et par la perméabilité à l'air d'hiver, les gains nets de climatisation l'été.
- Les équipements associés de ventilation naturelle réalisent des gains d'énergie par rapport à la ventilation mécanique.

À titre d'exemples, voici la comparaison des bilans énergétiques globaux de différentes installations d'éclairage zénithal en Région Parisienne (zone climatique H1) permettant d'évaluer, selon les configurations, ces gains d'énergie.

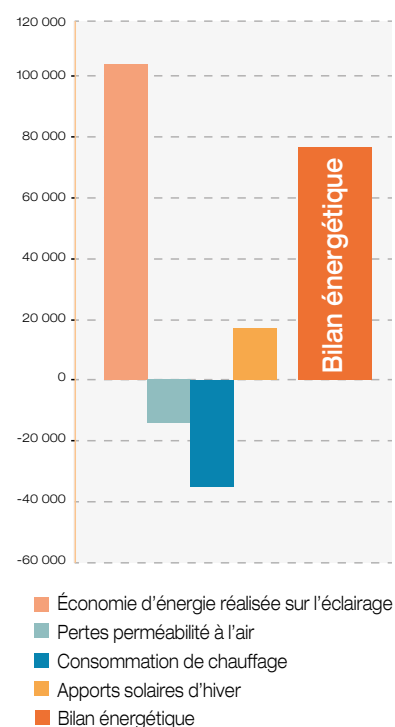
Exemple 1 : lanterneaux correctement isolés assurant une autonomie de 300 lux 50% du temps pour un local industriel éclairé à 300 lux sans climatisation

Surface du bâtiment	5 000 m ²
Facteur de Lumière du Jour	2,46%
Nombre de lanterneaux	91
Pourcentage de lanterneaux en toiture	10,9%
Autonomie à 300 lux	50%
Pourcentage d'économie sur l'éclairage	62%

Économie d'énergie réalisée sur l'éclairage	103 446 kWh/an
Pertes perméabilité à l'air	- 13 113 kWh/an
Consommation de chauffage	- 34 529 kWh/an
Apports solaires d'hiver	18 813 kWh/an

Bilan énergétique 74 617 kWh/an

**Soit une économie potentielle de 7 461 € par an¹
et une réduction de près de 7 tonnes² de CO²**



Nous constatons un bilan énergétique positif de 74 617 kWh/an grâce à des économies d'éclairage artificiel (+ 103 446 kWh/an). La perte thermique d'hiver (- 34 529 kWh/an) est partiellement compensée par les apports solaires d'hiver (+ 18 813 kWh/an), les pertes liées à la perméabilité à l'air sont faibles (- 13 113 kWh/an).

¹ Hypothèse coût de l'énergie électrique : 0,10€H.T. / kWh.

² En France, un kWh électrique produit en moyenne 0,09 kg de CO₂, soit 74 617 x 0,09 = 6,72 tonnes de CO₂ en moins.



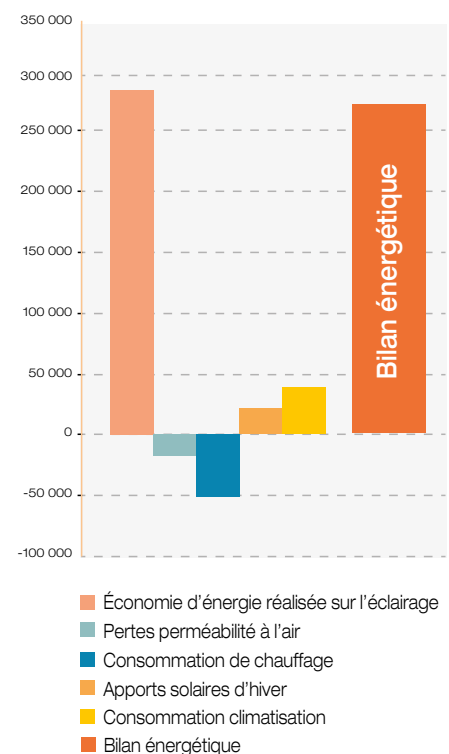
Exemple 2 : lanterneaux correctement isolés assurant une autonomie de 300 lux 50% du temps pour un local commercial éclairé à 1 000 lux avec climatisation

Surface du bâtiment	5 000 m ²
Facteur de Lumière du Jour	2,46%
Nombre de lanterneaux	91
Pourcentage de lanterneaux en toiture	10,9%
Autonomie à 300 lux	50,1%
Pourcentage d'économie sur l'éclairage	40%

Économie d'énergie réalisée sur l'éclairage	286 372 kWh/an
Pertes perméabilité à l'air	- 19 152 kWh/an
Consommation de chauffage	- 50 430 kWh/an
Apports solaires d'hiver	22 575 kWh/an
Consommation climatisation	41 421 kWh/an

Bilan énergétique 280 786 kWh/an

**Soit une économie potentielle de 28 078 € par an¹
et une réduction de plus de 25 tonnes² de CO₂**



Le bilan énergétique est plus important (280 786 kWh/an) grâce à des économies d'éclairage artificiel (+ 286 372 kWh/an). La perte thermique d'hiver (- 50 430 kWh/an) est partiellement compensée par les apports solaires d'hiver (+ 22 575 kWh/an), les pertes liées à la perméabilité à l'air sont faibles (- 19 152 kWh/an) et le gain de diminution de la climatisation (+ 41 421 kWh/an) est intéressant.

¹ Hypothèse coût de l'énergie électrique : 0,10€H.T. / kWh.

² En France, un kWh électrique produit en moyenne 0,09 kg de CO₂, soit 280 786 x 0,09 = 25,3 tonnes de CO₂ en moins.



L'éclairage naturel,
un investissement
gagnant

5.

Retour sur investissement

Les gains énergétiques induits par l'éclairage naturel zénithal optimisent les temps de retour sur investissement.

Nous avons réalisé une **analyse de ces gains sur 4 types de bâtiments** (2 destinés au commerce et 2 destinés à l'industrie et au stockage), avec pour hypothèse des installations d'éclairage permettant une autonomie d'apport de 300 lux de lumière naturelle pendant 50% du temps d'utilisation de ces bâtiments.

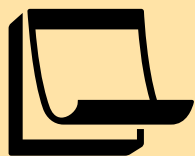
Nous avons considéré pour chacun des bâtiments les résultats énergétiques dans **3 villes types** des zones climatiques de la RT 2012 : **Paris** (zone H1a), **Nantes** (zone H2) et **Marseille** (zone H3).

Équipement des bâtiments de l'étude :

- Les toitures sont équipées de lanterneaux dits "ponctuels", marqués CE suivant la norme européenne EN 1873 ou de lanterneaux dits "continus" ou "filants" marqués CE suivant la norme européenne EN 14963.
- Considérés isolément ces lanterneaux d'éclairage à isolation thermique renforcée ont des performances thermiques U_{rc} maxi de $2 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ pour les ponctuels et $2,5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ pour les continus (voûte filante). Leur remplissage est en PCA 16 (polycarbonate alvéolaire de 16 mm multiparois) opalescent avec un taux de transmission lumineuse τ_{D65} de 52%, et un facteur solaire de 50% suivant les mêmes normes.

Les données suivantes ont été retenues pour mesurer l'impact économique de l'éclairage naturel :

- Niveau d'éclairage intérieur demandé de 1 000 lux pour les commerces et 300 lux pour l'industrie.
- Commerces climatisés.
- Coût de l'énergie électrique : 0,10 € HT/kWh.
- Coût global des lanterneaux d'éclairage naturel en toiture, incluant la pose : 250 € HT/m².



Sans tenir compte de la forte tendance inflationniste du coût de l'énergie électrique dans les prochaines années, les temps de retour sur investissement sont de l'ordre de :

- **2 à 4 ans pour les commerces climatisés**
- **à partir de 6 ans pour les locaux industriels**

- Ces données constituent des **ordres de grandeur** qui nécessitent d'être affinées en fonction des caractéristiques précises de chaque bâtiment.
- Les résultats **varient selon les niveaux d'éclairage intérieur demandés et la situation géographique** des locaux. Les performances sont meilleures lorsque des niveaux d'éclairage intérieur élevés sont exigés et dans les zones climatiques plus chaudes et plus lumineuses (zone H3 plus favorable que zone H1).
- Il faut cependant souligner que dans les zones climatiques moins favorisées par la lumière naturelle, les personnes demandent plus de lumière intérieure et accordent donc plus d'importance à ses **apports bénéfiques**, ce qui donne un autre impact aux résultats de ces zones.
- Enfin, **une diminution des temps d'utilisation des luminaires** permet une réduction de leurs coûts de maintenance et de remplacement.



Les bénéfices induits

- La mise en place de sources de lumière naturelle contribue à une **augmentation de la valorisation des bâtiments** (augmentation des points pour les labels HQE et BBC) et favorise donc la revente éventuelle, élément à prendre en compte par les investisseurs et constructeurs.
- Les locaux mieux éclairés par la lumière naturelle, donc offrant de meilleures conditions de travail, permettent d'**accroître la productivité** et contribuent à **réduire la proportion d'accidents** (selon une étude allemande¹, les accidents de travail ont diminué de 50% lorsque le niveau d'éclairement naturel passe de 500 à 2 000 lux).
- Les bâtiments bénéficiant d'un label éco-responsable, par exemple en raison de leur concept d'aménagement, de leur climatisation ou de leur éclairage, ont **un effet positif sur les collaborateurs et sur le succès de l'entreprise**. Des enquêtes réalisées par CBRE Richard Ellis et l'Université de San Diego font état notamment d'une augmentation de la capacité de performance des collaborateurs, d'une amélioration de leur bien-être et d'une diminution des jours d'absence pour raison maladie.
- Plus accueillants et plus agréables à vivre, les bâtiments qui profitent de lumière naturelle ont également un impact sur l'attractivité de l'entreprise, notamment en termes de recrutement.

Les avantages d'une démarche environnementale

- La valeur du bien immobilier augmente.
- L'immeuble se vend plus facilement.
- La location peut se réaliser plus aisément et à des niveaux de loyers plus élevés.
- Les coûts d'exploitation sont notablement réduits.
- Le bilan CO₂ de l'entreprise profite d'une consommation réduite des ressources.
- Les bâtiments certifiés constituent un vecteur de communication d'entreprise et de marque.

¹ Handbuch für Beleuchtung - Manuel pour l'éclairage, Lange, H - 1999.
Ir. W.J.M. van Bommel, Ir. G.J. van den Beld, Ir. M.H.F. van Ooijen - 2002.



Piloter

l'éclairage artificiel
complémentaire

6.

Pilotage de l'éclairage artificiel complémentaire (recommandations du Syndicat de l'Éclairage)

Un pilotage indispensable. L'homme et l'architecture vivent de la lumière. La gestion des solutions d'éclairage en fonction de la lumière du jour veille à l'équilibre optimal entre efficacité et confort. La commande automatique permet de garantir en permanence un niveau d'éclairement constant de la zone à éclairer, et peut à tout moment être relayée par la commande manuelle, ce qui facilite l'acceptation de ces automatismes par les utilisateurs.

6.1 Les principales solutions d'éclairage selon les types de locaux et d'activités

Les lampes à LED et modules LED

Les LED présentent des performances certaines, et en progrès constant : longue durée de vie, forte efficacité lumineuse, qualité de lumière, gradation et variation de l'intensité lumineuse et de la température de couleur de la lumière, rallumage instantané qui permettent tout type de gestion.



Les lampes aux iodures métalliques

Ce sont des lampes à décharge qui allient lumière blanche, efficacité lumineuse élevée et un bon IRC¹. Elles présentent toutefois certains inconvénients : le temps de montée en pleine puissance à l'allumage et l'impossibilité de rallumage instantané, qui les rendent mal adaptées aux systèmes de gestion.



Les tubes fluorescents

Il s'agit principalement des tubes fluorescents rectilignes à double culot de 16 mm de diamètre appelés T5, qui peuvent atteindre une durée de vie de 24 000 heures ; ils sont toujours associés à un appareillage électronique. Ils offrent une efficacité lumineuse supérieure à 100 lm/W pour les puissances les plus élevées, mais ces critères n'évolueront plus beaucoup.



¹ Indice de Rendu de Couleur.

6.2 Exemples de solutions de pilotage de l'éclairage artificiel en fonction de l'éclairage naturel

La gestion de l'éclairage comprend deux modes de détection : de présence qui garantit l'extinction des espaces inoccupés, et de lumière du jour ou de niveau d'éclairement, qui permet de limiter le recours à l'éclairage artificiel en fonction de la lumière qu'apporte déjà l'éclairage naturel. Les luminaires communiquent entre eux par connexion filaire¹ ou par ondes, et éventuellement avec un système qui gère l'ensemble de l'éclairage d'un bâtiment. Contrairement au réseau filaire, certains dispositifs radio de gestion centralisée en réseau maillé permettent de modifier facilement les zones d'éclairage.

Détection de présence

Le détecteur de présence comprend un capteur sensible à la présence ou au déplacement des personnes, couplé à des dispositifs qui transfèrent l'information aux luminaires. Intégrés ou non dans le luminaire, ces capteurs doivent être compatibles avec l'installation existante : les ballasts ferromagnétiques ne permettent pas la gestion individuelle des luminaires. Les lampes sodium, iodures et T8 sont contre-indiquées.

Certains luminaires communiquent entre eux. Chaque appareil est équipé de ses propres capteurs et contrôleurs et interagit avec les luminaires voisins. De nombreux modèles sont dotés d'une temporisation qui laisse le luminaire allumé pendant une durée déterminée de non-détection, et éteint progressivement, afin d'éviter une extinction trop brutale. D'autres systèmes fonctionnent sur le même principe en limitant le nombre de capteurs ; dans le cas d'une allée, il peut y avoir un capteur en extrémité et un au milieu si nécessaire.

Détection de lumière du jour

Ces capteurs de lumière (intégrés ou non aux luminaires, associés ou non aux détecteurs de mouvement) garantissent aux personnels un niveau d'éclairement constant sur la zone de travail, et permettent de réaliser d'importantes économies, les consommations étant modulées en permanence en fonction des apports de lumière du jour.

Une large gamme de détecteurs est disponible pour répondre à tous les types de locaux et d'activités (bâtiment ERT, ERP).



¹ DALI : Digitable Adressable Lighting Interface / 1-10 V / KNX / XMX.

Gestion centralisée

Pour centraliser l'information, deux méthodes sont possibles :

- **en filaire**, ce qui nécessite un câblage spécifique,
- **par ondes** (radio, VLC – Visual Light Communication – Li-Fi – Light Fidelity).

Pour le filaire, plusieurs protocoles de communication existent (DALI ou KNX par exemple, ou simplement analogique), peu coûteux du point de vue de l'installation électrique (plus d'interrupteurs ni de câblage vertical). Les luminaires sont regroupés en circuits et câblés sur une sortie d'un module de contrôle. Le nombre d'appareils par groupe est choisi en fonction du besoin de flexibilité. Le protocole ouvert DALI développé avec des composants communs à l'ensemble des fabricants permet de contrôler individuellement de nombreux points lumineux ou groupes de luminaires, de mémoriser des ambiances d'éclairage et de connaître l'état de l'installation.

Pour le sans fil, les protocoles sont encore plus nombreux (Wi-Fi, Zigbee, Li-Fi, Bluetooth, etc.). La configuration associée est aussi importante : réseau maillé ou point à point et la capacité à communiquer d'un îlot à l'autre. Le protocole Zigbee, par exemple, est facile à mettre en œuvre et flexible du point de vue de sa configuration. Le Li-Fi et le VLC permettent de mettre en place une communication sans fil n'utilisant pas de systèmes supplémentaires, puisque l'information est émise par les LED.

La gestion centralisée permet également de connaître l'état et les consommations de l'ensemble du bâtiment et d'enregistrer au préalable (dans la mémoire de l'unité de gestion) des scénarios lumineux, par exemple. Il devient aussi possible de paramétrer le pilotage de l'installation sur plusieurs étages pour qu'il s'intègre à une gestion globale du bâtiment incluant le chauffage, la climatisation, les volets roulants ou encore l'ouverture des lanterneaux pour assurer une fonction de ventilation naturelle, ou leur occultation pour éviter l'éblouissement direct.

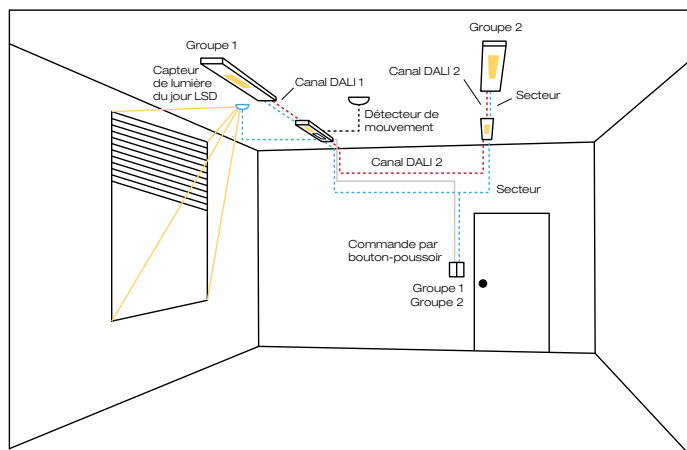
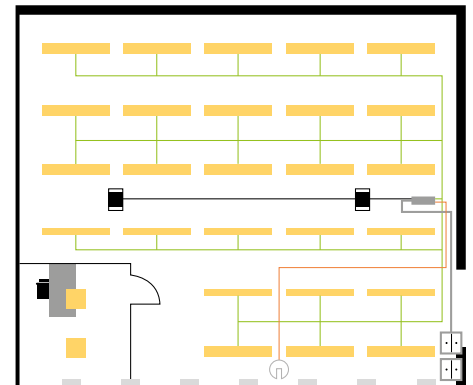


Exemple de gestion centralisée

Des halls industriels où le nombre de collaborateurs est très variable : les luminaires sont associés en 2 groupes en fonction des différentes zones d'utilisation. De cette manière, il suffit d'un seul bouton-poussoir pour allumer, éteindre ou graduer tous les luminaires d'un même groupe. Deux détecteurs de mouvement assurent l'enregistrement correct de la présence de personnes. Avec la commande de l'éclairage artificiel en fonction de la lumière du jour, les économies d'énergie se font automatiquement.

Composition de l'éclairage artificiel :

-  1 DIMLITE day light
-  2 boutons-poussoirs doubles
-  2 détecteurs de mouvement standards
-  1 cellule photoélectrique LSD

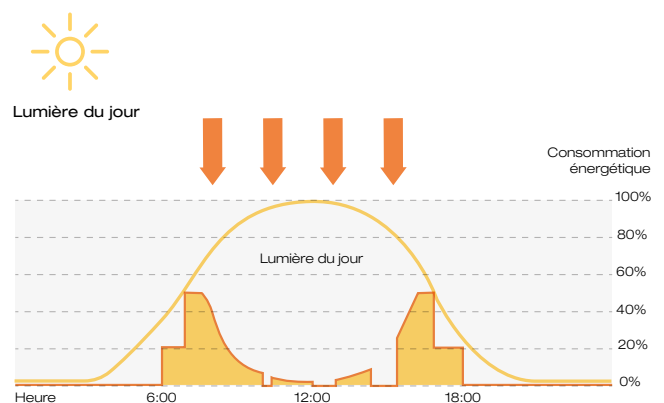
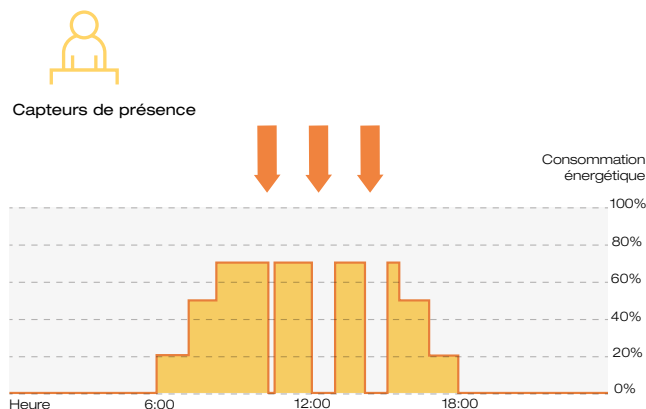


DIMLITE
(commande en fonction de la lumière du jour)

- Bus : DALI
- Réseau
- Capteur LSD de lumière du jour
- Commande par bouton-poussoir
-  Luminaire pilote : DIMLITE day light
-  Luminaire récepteur : DALI

Jusqu'à 75% de gains d'éclairage

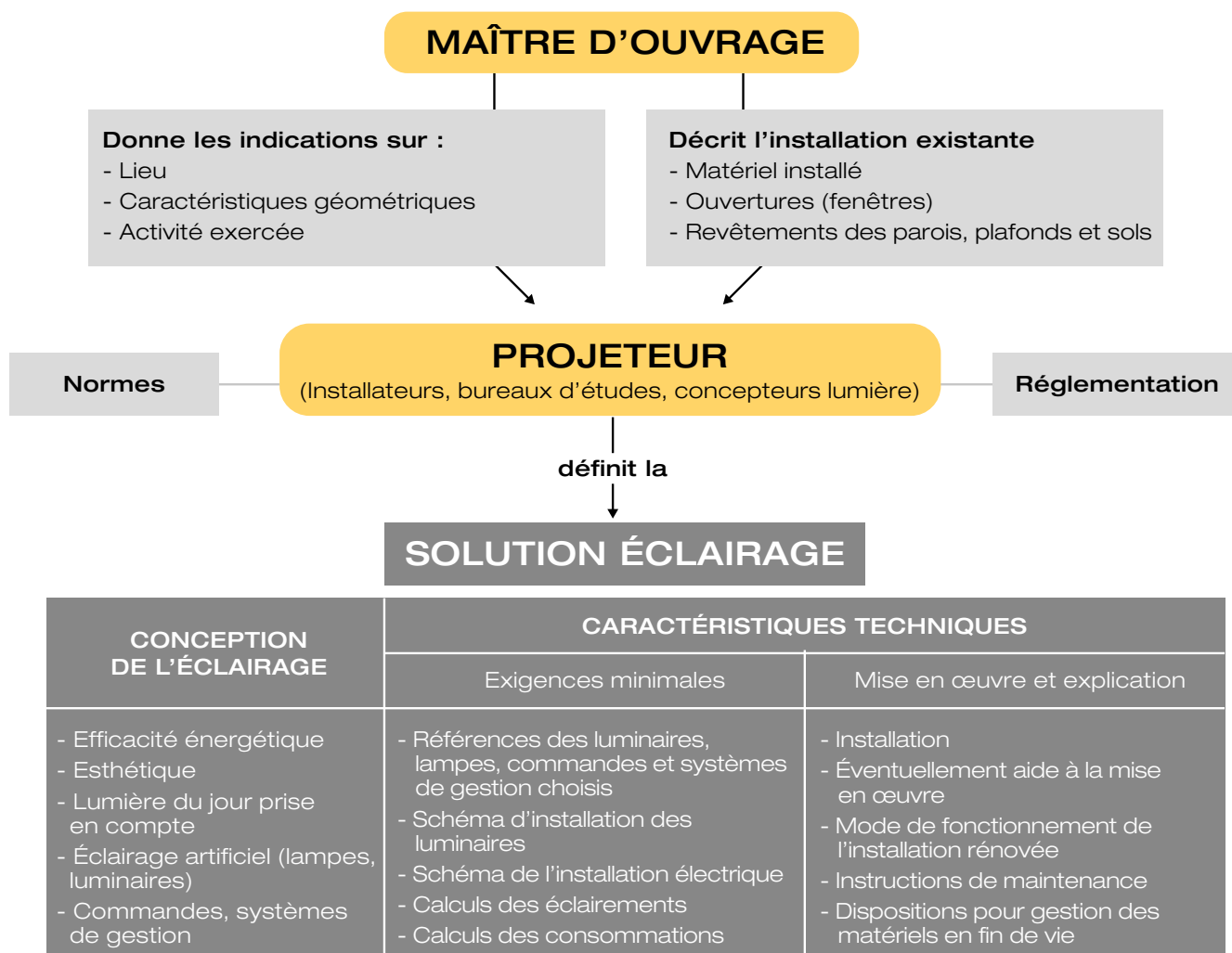
Dans les bâtiments fonctionnels, l'exploitation parfaite de la lumière du jour permet d'économiser jusqu'à 75% de l'énergie d'éclairage. Cet apport gratuit de lumière du jour peut être combiné avec une protection solaire et anti-éblouissement.



Conseils pour s'adresser aux professionnels compétents¹

Les entreprises et sociétés adhérentes aux organismes ci-dessous peuvent vous apporter les conseils et solutions pour les installations de pilotage efficaces de l'éclairage artificiel disponibles aujourd'hui sur le marché :

- Le Syndicat de l'Éclairage
- La FGME
- Le SERCE
- L'AFE
- Le GIF Lumière
- Cluster Lumière
- La CAPEB
- Périfem
- La FFIE
- IGNES



¹ Informations issues du guide "Renover l'éclairage des plateformes logistiques et entrepôts" édité par l'ADEME et le Syndicat de l'Éclairage (2017).

Glossaire & bibliographie

Sites internet

- www.gif-lumiere.com • www.clusterlumiere.com • www.syndicat-eclairage.com • afe-eclairage.fr • fr.graitec.com/archiwizard
- www.dial.de

Publications

- Ademe, 2017, Rénover l'éclairage des plateformes logistiques et entrepôts.
- J. Anjali, 2006, The impact of light on outcomes in healthcare settings, The Center For Health Design, Issue Paper.
- ARENE, ICEB 2014, Guide bio tech l'éclairage naturel.
- S. Becerra, N. Golovtchenko, 2005, Économiser ou gaspiller l'énergie. Analyse sociologique des modes de gestion de l'énergie dans les ménages, I.U.P. de sociologie appliquée, Université de Toulouse-le Mirail.
- C. Beslay, R. Gournet, M-C. Zélem, B. Peuportier, P. Calberg-Ellen, J-D. Lénard, G. De Labrouhe, 2012, Garantie de performance énergétique. Analyse comportementale, synthèse bibliographique, Fondation Bâtiment Énergie / ADEME.
- C. Beslay, R. Gournet, 2011, La filière du Bâtiment face au Grenelle de l'environnement. Étude sociologique des pratiques et des représentations sociales, BESCOB, GDF SUEZ.
- C. Beslay, R. Gournet, 2007, Les acteurs du marché de l'éclairage. Analyse sociologique des logiques d'action en matière de LBC, Programme de recherche "Maîtriser la demande d'électricité dans le domaine de l'éclairage domestique", BESCOB, CERTOP-CNRS, ADEME.
- Bommel, W Van, Beld, G. Van, Ooyen, H. Van, 2002, Industrial lighting and productivity, Philips Lighting, Netherlands.
- P. Boyce, C. Hunter and O. Howlett, 2003, The benefits of daylight through windows. Lighting Research Center, Rensselaer Polytechnic Institute, Troy, NY, USA 12180.
- A. Cakir, 2002, Daylight for health and efficiency, Ergonomic Institut, Berlin.
- California Energy Commission, 2003, Daylight and retail sales.
- B. Duval, Travail et Sécurité.
- L. Edwards, P. Torcellini, 2002, A literature review of the effects of natural light on building occupants, National Renewable Energy Laboratory, USA (2002).
- M. Fontoynt, M. Perreaudau, P. Avouac, 2011, Construire avec la lumière naturelle, CSTB 2011.
- A. Galasiu, J. Veitch, 2006, Occupant preferences and satisfaction with the luminous environment and control systems in daylight offices : a literature review, Energy and buildings, n°38.
- C. Gronfier, 2009, Le rôle et les effets physiologiques de la lumière : sommeil et horloge biologique dans le travail de nuit et posté, Science Direct, Elsevier Masson.
- L. Heschong, R. Wright, S. Okura, 2002, Daylighting impacts on human performance in school, Journal of the Illuminating Engineering Society.
- INRS, 2008, Fiche pratique de sécurité ED82 L'éclairage naturel (conception des lieux de travail).
- K. Johnsen, R. Watkins, 2010, Daylight in buildings, AECOM.
- H. Juslen, 2002, The effect of light on well-being, Philips Lighting.
- F. Maamari, 2004, La simulation numérique de l'éclairage, limites et potentialités, Thèse de doctorat, INSAA de Lyon.
- S. Miget, 2014, Avec les lanterneaux, la lumière au zénith, Façades couverture.
- M. Mott, D. Robinson, A. Walden, J. Burnette, A. Rutherford, 2014, Illuminating the effects of dynamic lighting on student learning, SAGE Open.
- M. Nornier, 2006, Valoriser la lumière naturelle.
- Riemersma, Van der Lek et al., 2008, Effect of bright light and melatonin on cognitive and non cognitive function in elderly residents of group care facilities : a randomized controlled trial, Harvard University.
- C.F. Reinhart, 2001, Daylight Availability and Manual Lighting Control in Office Buildings, Simulation Studies and Analysis of Measurements, Karlsruhe.
- S. Reiter, A. De Herde, 2004, L'éclairage naturel des bâtiments, Presses universitaires de Louvain.
- G. Tapie, 2000, Les architectes : mutations d'une profession, L'Harmattan, Collection logiques sociales, Paris.
- Tribu Énergie, GIF Lumière, Étude d'impact de l'installation de lanterneaux sur les consommations et le confort d'été d'un bâtiment industriel.
- J. Veitch, 2011, The physiological and psychological effects of windows, daylight and view at home, Institute for research in Construction, Canada.
- M-C. Zélem, 2008, Le bâtiment économe : innovation, dynamisation des réseaux et formation des acteurs, ERT-SPEED, CUFR-Albi, Programme PREBAT (PUCA – ADEME), septembre 2008.

Éditeur de ce guide, le GIF Lumière regroupe les entreprises françaises spécialistes de l'éclairage naturel zénithal. Pour en savoir plus sur leur savoir-faire et trouver des informations sur la lumière naturelle, rendez-vous sur le site www.gif-lumiere.com



Immeuble Maison de la Mécanique
39, rue Louis Blanc - CS 30080 - 92038 La Défense Cedex
Tél. : 01 47 17 63 03 - Mail : contact@ffmi.asso.fr

Le GIF est affilié à la Fédération Française des Métiers de l'Incendie

