

NRC Publications Archive Archives des publications du CNRC

Performances des lanterneaux tubulaires d'éclairage naturel

Laouadi, A.; Saber, H. H.

For the publisher's version, please access the DOI link below. / Pour consulter la version de l'éditeur, utilisez le lien DOI ci-dessous.

Publisher's version / Version de l'éditeur:

<https://doi.org/10.4224/40002794>

Solution constructive; no. 82, 2014-06-01

NRC Publications Archive Record / Notice des Archives des publications du CNRC :

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/object/?id=449fdef4-d9bd-4fe0-83a9-f0e268288459>

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/voir/objet/?id=449fdef4-d9bd-4fe0-83a9-f0e268288459>

Access and use of this website and the material on it are subject to the Terms and Conditions set forth at

<https://nrc-publications.canada.ca/eng/copyright>

READ THESE TERMS AND CONDITIONS CAREFULLY BEFORE USING THIS WEBSITE.

L'accès à ce site Web et l'utilisation de son contenu sont assujettis aux conditions présentées dans le site

<https://publications-cnrc.canada.ca/fra/droits>

LISEZ CES CONDITIONS ATTENTIVEMENT AVANT D'UTILISER CE SITE WEB.

Questions? Contact the NRC Publications Archive team at

PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca. If you wish to email the authors directly, please see the first page of the publication for their contact information.

Vous avez des questions? Nous pouvons vous aider. Pour communiquer directement avec un auteur, consultez la première page de la revue dans laquelle son article a été publié afin de trouver ses coordonnées. Si vous n'arrivez pas à les repérer, communiquez avec nous à PublicationsArchive-ArchivesPublications@nrc-cnrc.gc.ca.

Performances des lanterneaux tubulaires d'éclairage naturel

Par A. Laouadi et H.H. Saber

Les lanterneaux tubulaires d'éclairage naturel fournissent un moyen économique d'éclairer naturellement les parties d'un bâtiment qui ne sont pas munies de fenêtres ni de lanterneaux classiques. Le compte rendu qui suit donne un aperçu des éléments et caractéristiques de ces lanterneaux, et présente des résultats de recherche qui aideront les fabricants à concevoir et classer leurs produits. Ces résultats aideront également les rédacteurs de devis à sélectionner les produits les plus performants pour certains lieux et géométries d'installation.

Les lanterneaux tubulaires d'éclairage naturel servent à capter et canaliser la lumière du jour depuis le toit d'un immeuble jusqu'aux espaces intérieurs (figure 1). Par rapport aux lanterneaux classiques, les lanterneaux tubulaires offrent les avantages suivants : économie d'énergie (petite surface pour la quantité de lumière utile qu'ils peuvent admettre), réduction de l'apport de chaleur par rayonnement solaire et facilité relative d'installation. Les lanterneaux tubulaires droits sont les plus répandus mais il faut parfois utiliser des conduits de lumière à sections coudées pour adapter les lanterneaux à la géométrie d'un bâtiment.

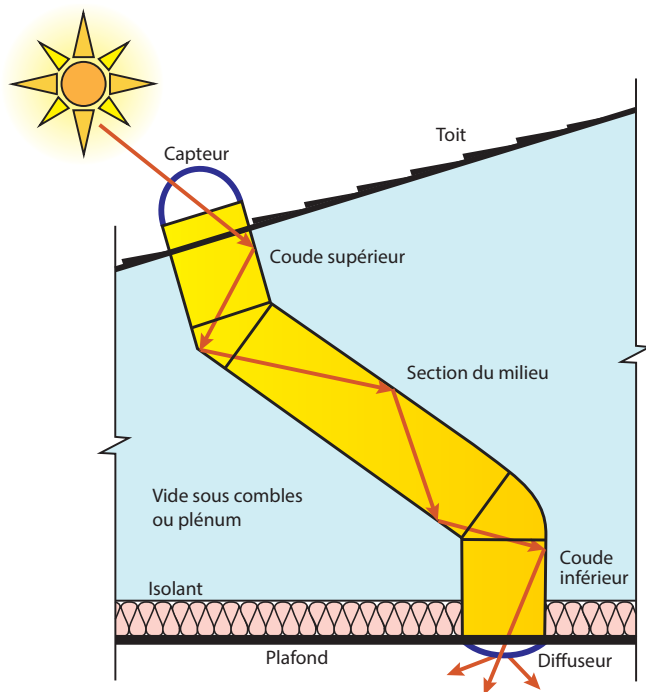


Figure 1. Exemple de lanterneau tubulaire d'éclairage naturel

L'éclairage naturel des espaces intérieurs contribue à réduire l'usage et le coût de l'éclairage artificiel. De plus, comme la lumière fournie par les lanterneaux tubulaires n'est pas éblouissante, elle augmente le confort visuel, la santé et le bien-être des occupants de l'immeuble.

La performance d'éclairage (puissance lumineuse) d'un lanterneau tubulaire varie en fonction de l'heure, de la quantité de lumière disponible à l'extérieur, de l'emplacement de l'immeuble, de l'orientation et de l'exposition du toit et du rapport entre la longueur et le diamètre du conduit. Généralement, un lanterneau peut éclairer une surface de 14 à 28 m² (150 à 300 pi²). La surface éclairée dépend de la hauteur du plafond; plus le plafond est haut, plus la distribution de la lumière est uniforme.

Les lanterneaux tubulaires captent aussi la chaleur du soleil et la transmettent à l'intérieur. L'apport de chaleur par rayonnement solaire est souhaitable en hiver pour réduire les besoins en chauffage mais en été, cet apport augmente les besoins de climatisation. De plus, les ouvertures aménagées dans le toit pour les lanterneaux tubulaires peuvent entraîner des pertes de la chaleur intérieure vers l'extérieur. Ces facteurs ont une influence sur le rendement énergétique des lanterneaux tubulaires et, par conséquent, sur la capacité d'un bâtiment à se conformer aux codes et normes d'efficacité énergétique.

Les technologies de lanterneaux tubulaires ont rapidement évolué pour respecter les normes élevées de rendement énergétique des bâtiments et les exigences en matière d'éclairage non éblouissant. Comme le potentiel éconergétique des lanterneaux tubulaires est maintenant confirmé, l'usage de ces lanterneaux est de plus en plus encouragé et parfois même exigé, en particulier dans les bâtiments commerciaux.

Principaux éléments

Les lanterneaux tubulaires se composent généralement des trois parties suivantes : un capteur placé sur le toit pour capter les rayons du soleil et pour diffuser la lumière, un conduit de lumière situé dans le vide sous combles ou le plénum pour canaliser la lumière vers le bas, et un diffuseur installé au plafond pour distribuer la lumière à l'intérieur (voir la figure 1).

Capteur

Le capteur est habituellement un dôme à une ou plusieurs couches de verre ou de plastique transparent qui fait saillie sur le toit. Il peut prendre diverses formes géométriques ou contenir des éléments optiques, tels que prismes, réflecteurs ou diffuseurs, qui servent à améliorer l'éclairage produit par les lanterneaux, en particulier pour les petits angles d'altitude solaire (figure 2).

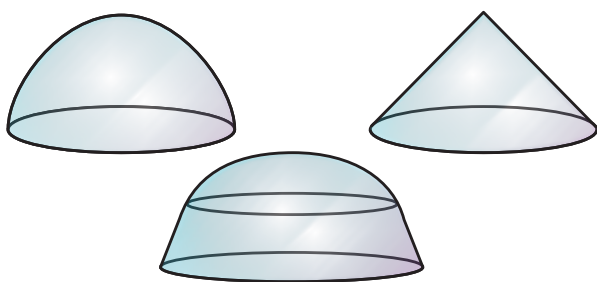


Figure 2. Formes typiques de capteur

Conduit de lumière tubulaire

Le conduit de lumière tubulaire peut être rigide et droit, rigide et coudé ou flexible. Il est habituellement fabriqué à partir d'une feuille d'aluminium. La surface intérieure du conduit est généralement revêtue de matériaux spéciaux, qui réfléchissent très bien la composante visible de la lumière du soleil tout en absorbant sa composante infrarouge, de sorte que la lumière qui se rend à l'espace intérieur soit principalement la composante visible. Il existe sur le marché des matériaux de revêtement qui offrent une réflectivité de la lumière pouvant aller jusqu'à 99 %. Selon le type d'immeuble et les exigences des codes du bâtiment en matière de protection contre les incendies et d'efficacité énergétique, il se peut qu'une section de la surface extérieure du conduit soit recouverte d'un isolant au niveau du plafond (p. ex. dans les combles d'un bâtiment résidentiel) ou au niveau du toit (p. ex. dans le plénum d'un bâtiment commercial), ou encore que toute la surface du conduit soit recouverte d'isolant.

Les diamètres des conduits se situent entre 250 et 560 mm (10 à 24 po). Le rapport entre la longueur du conduit (L) et son diamètre (D) est dit rapport de forme (L/D). Plus le rapport de forme est bas, plus il y a de lumière qui atteint l'espace intérieur (figure 3). En général, la limite pratique du rapport de forme est d'environ 25. Cela signifie que la longueur d'un conduit ne peut pas dépasser 6 m (20 pi) lorsque le diamètre est de 25 cm (10 po) tandis que la longueur peut aller jusqu'à 13 m (44 pi) lorsque le diamètre est de 53 cm (21 po).

La figure 3 indique le pourcentage de transmission de la lumière du soleil dans un conduit droit (c'est à-dire sans aucun coude et sans capteur sur le toit ni diffuseur au plafond) en fonction du rapport de forme du conduit, de la réflectivité de la surface intérieure du conduit et de l'angle auquel la lumière du soleil frappe la surface d'ouverture du conduit (angle d'incidence). La transmittance de la lumière des conduits verticaux diminue lorsque les angles d'incidence augmentent. Il en résulte que les conduits verticaux transmettent davantage de lumière pendant les jours d'été que pendant les jours d'hiver. Également, plus le rapport de forme est bas ou plus la réflectivité du conduit est élevée, plus le conduit transmet de lumière dans l'espace intérieur. En outre, les effets de la réflectivité et du rapport de forme du conduit sont plus prononcés aux angles d'incidence moyens à élevés (> 25 degrés; c.-à-d. au coucher ou au lever du soleil ou pendant les jours d'hiver dans l'hémisphère nord). En d'autres termes, il faut doter les conduits longs d'une réflectivité élevée pour qu'ils puissent transmettre efficacement la lumière du soleil vers les espaces intérieurs.

Il est important de souligner ici que les résultats présentés ci-dessous sont valables uniquement pour la transmittance de conduits verticaux. L'ajout d'un capteur complexe (muni de structures prismatiques) au-dessus du conduit ou l'ajout de plusieurs coudes dans le conduit modifie son profil de transmittance, en particulier à des angles d'incidence élevés (ou à de petits angles d'altitude solaire).

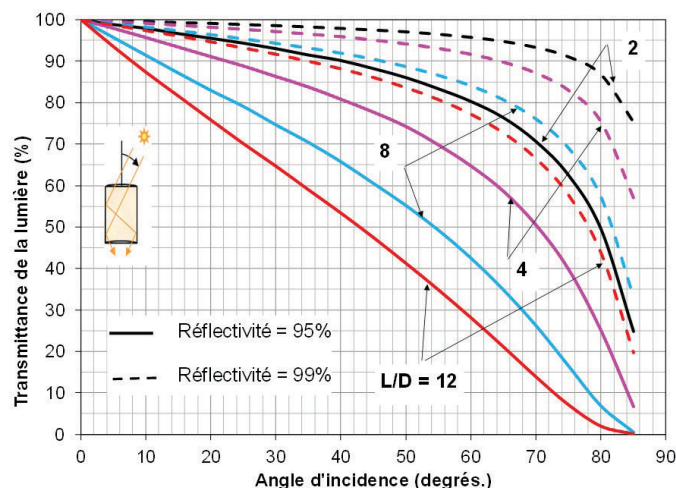


Figure 3. Transmittance de la lumière visible dans un conduit droit (sans aucun coude) en fonction du rapport de forme (L/D) du conduit, de la réflectivité de la surface intérieure du conduit et de l'angle d'incidence de la lumière

Diffuseurs

Les diffuseurs de plafond des lanterneaux tubulaires sont habituellement hémisphériques ou plats, et se composent d'une ou plusieurs couches de verre ou de plastique. Ils emploient généralement l'un des trois types de vitrage suivants : prismatique, diffusant ou à lentilles.



Figure 4. Diffuseur à vitrage prismatique (A), Diffuseur à vitrage diffusant (B), Diffuseur à vitrage à lentilles (C)

Le vitrage prismatique (figure 4A) se compose de rangées ou de couches de microstructures identiques (prismes coniques, nervures, biseaux, etc.), qui réfléchissent, réfractent ou font dévier la lumière entrante d'après son angle d'incidence. Les diffuseurs de ce type sont normalement faits de feuilles d'acrylique ou de polycarbonate dans lesquelles sont incrustés des prismes coniques.

Le vitrage diffusant (figure 4B) se compose de feuilles de verre ou de plastique transparent sur lesquelles sont appliqués des particules très fines, des pigments ou des films qui rendent le vitrage opalin (blanc). Les propriétés de diffusion dépendent de l'indice de réfraction et de la taille des microstructures employées dans les éléments appliqués. (L'indice de réfraction est une mesure de l'effet de réfraction ou de déviation de la lumière d'un certain milieu.)

Le vitrage à lentilles (figure 4C) se compose de rangées de lentilles divergentes qui sont très minces et qui, de ce fait, causent très peu de perte de lumière par absorption.

Développements récents

Bien que les lanternes tubulaires existent depuis plus de deux décennies, les fabricants ne disposaient pas jusqu'ici de méthodes de calcul ni d'outils de conception fiables qui leur permettraient de prévoir économiquement le comportement de leurs produits

sur les plans de l'éclairage et de l'énergie. Ces deux aspects de la performance des lanternes tubulaires sont tout aussi importants. Les propriétaires et utilisateurs de bâtiments ont besoin de savoir quels éléments rendent les lanternes tubulaires efficaces sur le plan optique – c'est à-dire augmentent au maximum la transmission de la lumière – et ils doivent connaître également le rendement énergétique des lanternes tubulaires pour pouvoir respecter les codes et normes d'efficacité énergétique.

C'est pourquoi, pour le compte de l'American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE), CNRC Construction a entrepris des recherches pour corriger les lacunes associées à cette technologie. Les chercheurs ont développé des modèles pour déterminer les performances optiques et thermiques des lanternes tubulaires avec et sans coude. Ils ont ensuite confirmé la validité de ces modèles en se basant sur des données publiques de tiers, des mesures et des simulations.

Résultats des calculs basés sur les modèles

Le tableau 1 présente certains résultats des calculs informatiques effectués. Il indique les caractéristiques optiques et thermiques d'un lanterneau tubulaire type, composé d'un capteur en acrylique de 3 mm, d'un diffuseur en polycarbonate de 3 mm et d'un conduit standard ayant un rapport longueur/diamètre de 2,14. La surface

Tableau 1. Caractéristiques d'un lanterneau tubulaire type (la transmittance et le SHGC sont calculés pour un angle d'incidence de 50 degrés)

Vitrage du capteur / diffuseur	simple / simple couche	double / double couches	double / simple couche	simple / double couches	simple / triple couches
Transmittance de la lumière visible (%)	77	63	72	66	58
SHGC (%) (isolant au plafond)	32	24	27	28	24
SHGC (%) (isolant sur le toit)	34	33	32	35	34
Facteur U (W/m ² °C) (isolant au plafond)	3,54	2,16	3,53	2,17	1,55
Facteur U (isolant sur le toit)	7,62	4,70	4,70	7,60	7,58

intérieure de ce conduit est revêtue d'un film en polymère dont la réflectivité est de 99 % pour la partie visible de la lumière du soleil et de 76 % pour la partie non visible (infrarouge), afin de transmettre à l'intérieur le maximum de lumière tout en réduisant l'apport de chaleur par rayonnement solaire. (Note : voir la barre latérale pour la définition des termes.)

On voit dans ce tableau que, même si le nombre de couches du capteur ou du diffuseur n'a qu'un faible effet sur la transmittance de la lumière visible (et, de ce fait, sur la lumière transmise par le lanterneau tubulaire), ce nombre a un effet important sur la performance thermique du lanterneau, comme l'indiquent bien le SHGC et le facteur U. Le tableau ne montre pas s'il existe une

Terminologie des performances et spécifications des lanterneaux tubulaires

Transmittance de la lumière visible (VT) – rapport entre la quantité de lumière du soleil transmise à l'espace intérieur et la quantité de lumière du soleil qui frappe l'ouverture du conduit du lanterneau tubulaire, calculé ou mesuré à un angle d'incidence standard.

Distribution normalisée de l'intensité (NID) – indice qui considère les lanterneaux tubulaires comme des appareils d'éclairage. La distribution de l'intensité est importante pour le calcul de l'énergie d'éclairage et pour la disposition spatiale des lanterneaux tubulaires.

Surface couverte par l'éclairage naturel (DAC) – partie de la surface d'un plan de travail éclairé par la lumière du jour dont le niveau d'éclairement est égal ou supérieur à l'éclairement recommandé par une norme d'éclairage en vigueur sous des conditions de ciel clair de CIE. Cette surface est un paramètre important pour le classement et la sélection des lanterneaux tubulaires, de même que pour la disposition spatiale qui garantit une réduction du coût des investissements (c.-à-d. une réduction du nombre de lanterneaux installés).

Rapport d'espacement (SR) – distance maximale entre deux paires de lanterneaux tubulaires, normalisée pour une certaine hauteur de plafond des pièces dans le bâtiment. Ce rapport est calculé d'après des critères d'uniformité de l'éclairement (lesquels sont habituellement fixés par des normes d'éclairage intérieur) à la surface du plan de travail.

Coefficient d'apport par rayonnement solaire (SHGC) – apport normalisé de chaleur par rayonnement solaire que produit le lanterneau tubulaire dans l'espace intérieur, lorsque la lumière du soleil tombe sur l'ouverture du conduit à un angle d'incidence standard.

Transmittance thermique (facteur U) – perte de chaleur vers l'extérieur que produit un lanterneau tubulaire par unité de surface, pour une certaine différence de température entre les milieux intérieur et extérieur.

composition optimale mais il fournit suffisamment d'information pour qu'un concepteur puisse sélectionner la composition la mieux adaptée à une application particulière, qu'il s'agisse d'un bâtiment résidentiel ou d'un bâtiment commercial.

Directives

Voici les résultats des recherches du CNRC qui peuvent être utiles aux fabricants, rédacteurs de devis et installateurs :

- Dans les lanterneaux tubulaires coudés, les performances d'éclairage (en particulier la transmittance de la lumière visible, la distribution normalisée de l'intensité et la surface couverte par l'éclairage naturel) dépendent du lieu géographique du bâtiment, de même que de l'heure du jour et de la période de l'année. Les modèles optiques conçus par le CNRC peuvent servir à optimiser la conception des lanterneaux tubulaires pour un lieu particulier.
- Les coudes présents dans les lanterneaux tubulaires peuvent avoir un effet important (de réduction ou d'augmentation) sur leurs caractéristiques optiques (transmittance de la lumière visible en fonction de l'angle d'incidence). Il est possible d'optimiser la transmittance de la lumière en plaçant les lanterneaux tubulaires de façon appropriée et en orientant les coudes des sections de raccord du conduit de façon à maximiser le captage de la lumière du soleil pendant les heures du jour.
- Les conduits verticaux sans coude sont plus efficaces que les conduits coudés (munis d'au moins deux coudes) pour les petits angles d'incidence ($< 60^\circ$; p. ex. à midi pendant la période estivale), et moins efficace pour les angles d'incidence élevés ($> 60^\circ$; p. ex. à midi dans la période hivernale).
- Les guides coudés qui font face au nord ont la plus basse transmittance pour les petits angles d'incidence ($< 32^\circ$) et la transmittance la plus élevée pour les angles d'incidence intermédiaires, soit entre 32° et 60° (p. ex. à midi au printemps ou à l'automne). Les conduits qui font face au sud produisent des résultats inverses.
- Les conduits de lumière qui sont orientés vers l'est ou l'ouest produisent des résultats moyens, c'est à-dire entre les résultats obtenus pour les orientations vers le nord et le sud.

Il est recommandé aux fabricants d'utiliser les modèles développés par le CNRC pour établir le classement de leurs lanterneaux tubulaires, plutôt que d'utiliser les procédures coûteuses de mesure qui sont actuellement disponibles.

Une fois que les fabricants auront commencé à utiliser les modèles du CNRC, les rédacteurs de devis et constructeurs pourront sélectionner les lanterneaux tubulaires qui conviennent le mieux à un certain type de bâtiment (résidentiel ou commercial) et à un lieu donné, tout en étant conforme aux codes du bâtiment et aux normes d'efficacité énergétique (notamment ASHRAE 90.1 et ENERGY STAR®).

Si les modèles du CNRC sont adoptés par les conseils de classement des produits de fenêtrage, les fabricants de lanterneaux tubulaires pourront commencer à inscrire sur l'emballage les mesures de performance de leurs produits, notamment le facteur U, le SHGC, la transmittance de la lumière visible, la distribution de l'intensité lumineuse et la surface couverte par l'éclairage du jour.

En ajoutant les modèles du CNRC à leurs outils de conception de produits de fenêtrage ou à leur trousse d'outils ASHRAE, les spécialistes de la conception pourront plus aisément sélectionner les produits éconergétiques les mieux adaptés à un site particulier.

Facteurs de sélection des lanterneaux tubulaires

Pour le choix des lanterneaux tubulaires, les rédacteurs de devis devraient tenir compte des facteurs suivants :

- Transmittance de la lumière visible : il convient de sélectionner les produits qui offrent la transmittance la plus élevée de la lumière visible afin de réduire le nombre de lanterneaux tubulaires installés ou d'utiliser des lanterneaux tubulaires de plus petit diamètre.
- Coefficient d'apport par rayonnement solaire : dans les climats où le chauffage est dominant, il faut sélectionner des lanterneaux tubulaires dont le SHGC se situe entre la valeur moyenne et la valeur la plus élevée. La plupart des lanterneaux tubulaires ont un SHGC qui se situe entre la valeur moyenne et la valeur la plus basse (< 40 %).
- Facteur U : les lanterneaux tubulaires devraient être équipés d'un diffuseur de plafond à plusieurs couches lorsque l'isolant se trouve au niveau du plafond (p. ex. dans les bâtiments résidentiels) ou d'un capteur à plusieurs couches lorsque l'isolant se trouve au niveau du toit (p. ex. dans les bâtiments commerciaux) afin de réduire les pertes de chaleur vers le milieu extérieur.
- Rapport d'espacement (SR) : ce facteur est lié à la distribution normalisée de l'intensité lumineuse des lanterneaux tubulaires. Pour réduire au minimum le coût des investissements (c.-à-d. pour installer le plus petit nombre possible de lanterneaux), il faut sélectionner les lanterneaux dont le rapport d'espacement est le plus élevé. Dans le cas des lanterneaux tubulaires à diffusion idéale, le rapport d'espacement varie de 1 à 1,5 pour une uniformité d'éclairement (rapport entre l'éclairement minimum et l'éclairement moyen du plan de travail) de 0,95 à 0,8, respectivement.

Installation

Les méthodes d'installation des lanterneaux tubulaires dépendent du type de toit (bardeaux d'asphalte, tuiles, membranes, couverture métallique, etc.). Les assemblages doivent être installés de façon à résister aux infiltrations d'air et d'eau, de même qu'aux dommages dus au vent et à la surcharge de neige. Les instructions du fabricant fournissent des détails pour les cas particuliers. Les réfections de toiture exigent une grande attention aux détails.

Conclusion

Les lanterneaux tubulaires d'éclairage naturel fournissent un excellent moyen de transmettre la lumière du jour dans les bâtiments. Les performances optiques des lanterneaux tubulaires déterminent le niveau d'éclairage qu'ils peuvent fournir. Leurs performances thermiques déterminent les gains et les pertes de chaleur qu'ils peuvent causer, ce qui a une incidence sur la conformité du bâtiment aux exigences d'efficacité énergétique. CNRC Construction a effectué, pour le compte de l'ASHRAE, des recherches qui aideront grandement les fabricants à concevoir et classer les lanterneaux tubulaires d'après leurs performances caractéristiques. Si l'industrie adopte les modèles créés par le CNRC, les rédacteurs de devis pourront sélectionner les lanterneaux tubulaires qui offrent les meilleures performances optiques et thermiques pour des orientations et des lieux donnés.

Documents de référence

Tous les références ci-dessous sont disponibles en anglais seulement.

- Laouadi, A., Saber, H.H., Galasiu, A., Arsenault, C. 2013.** Optical model for tubular hollow light guides (1415-RP). HVAC&R Research, 19:3, 324-334.
- Laouadi, A., Arsenault, C., Saber, H.H., Galasiu, A., 2012.** Tubular daylighting devices - part II: validation of the optical model (1415-RP). HVAC&R Research, 19:5, 557-572.
- Laouadi A., Saber H.H., Galasiu A.G., Arsenault C. 2013.** Tubular daylighting devices—Development and validation of a thermal model (1415-RP). HVAC&R Research, 19:5, 513-535
- Laouadi, A. 2004.** Design with SkyVision: a computer tool to predict daylighting performance of skylights, CIB World Building Conference, Toronto, Ontario; 1-11, May 01.

A. Laouadi et H.H. Saber sont des agents de recherche de CNRC Construction.

Solutions constructives : une collection d'articles techniques renfermant de l'information pratique issue de récents travaux de recherche en construction.

Pour obtenir de plus amples renseignements, communiquer avec Construction CNRC, Ottawa K1A 0R6. Tél : 613-993-2607

Courriel : CONSTInformation@cnrc-nrc.gc.ca Web : www.cnrc-nrc.gc.ca/sc

© 2014 Conseil national de recherches du Canada, juin 2014 ISSN 1203-2751