

LUMcalcul 2.01 : PRÉDICTION DE LA LUMIÈRE NATURELLE POUR LA CONCEPTION ARCHITECTURALE

CLAUDE MH DEMERS* MArch ULaval, PhD Cambridge, OAQ
ANDRÉ POTVIN, MArch ULaval, PhD Cambridge, OAQ

GRAP (Groupe de recherche en ambiances physiques)
École d'architecture, Université Laval,
Québec, (Qc), Canada, G1K 7P4
tel.: (418) 656 2131 ext: 6777, fax: (418) 656 2785
claude.demers@arc.ulaval.ca www.grap.ulaval.ca

RÉSUMÉ

LUMcalcul est un logiciel pour assister les architectes dans la conception d'espaces éclairés naturellement dès les premières étapes du design. Il permet d'introduire une discussion sur la relation existant entre certaines variables de design qui affectent la lumière et l'espace architectural avec les divers intervenants dans le processus de la création architecturale. La validation de LUMcalcul effectuée lors de projets de consultations confirme que le logiciel permet d'évaluer de manière raisonnable la quantité de lumière dans un espace. Une validation effectuée pour un projet réel est présentée, démontrant la relation entre les résultats préliminaires produits par LUMcalcul et les expérimentations réalisées en ciel artificiel. Les mesures réalisées à l'aide de sondes photométriques calibrées CIE (Commission Internationale de l'Éclairage) démontrent qu'il y a une variation d'environ 3% entre ces résultats.

INTRODUCTION

La plupart des logiciels créés pour prédire la quantité de lumière naturelle sont effectifs à des étapes avancées du projet architectural et sont donc pratiquement inutilisés dans les étapes initiales de la conception architecturale (Demers, 1997). Originellement, LUMcalcul fut créé pour répondre à des questions spécifiques lors d'un contrat de recherche pour le projet de Centre de Traitement du Bois Ouvré, nouveau pavillon pour l'Université Laval conçu par les architectes Gauthier, Galienne et Moisan. Ce projet discutait des principes d'éclairage naturel en relation à d'autres stratégies telle la ventilation naturelle et mécanique et nécessitait des réponses rapides aux questions des concepteurs dès les étapes initiales de design. Le GRAP (Groupe de Recherches en Ambiances Physiques) de l'Université Laval était

impliqué dès le début du projet, ce qui procura l'opportunité de vérifier l'outil de prédiction en fonction des diverses étapes de conception architecturale. D'autre part, le logiciel est utilisé pour ses qualités pédagogiques par les étudiants de maîtrise en ambiances physiques. Ces derniers réalisent des études comparatives avec d'autres méthodes d'évaluation (règles de pouces reconnues, Écotect, études en ciel artificiel, Radiance) dans un cours théorique et un atelier spécialisé. Plus récemment, LUMcalcul a été utilisé et distribué comme outil de transfert de connaissances pour les architectes lors d'une session de formation professionnelle organisée par l'OAQ (Ordre des Architectes du Québec).

Il existe en ce moment plusieurs logiciels qui simulent la lumière avec des niveaux de précision variables qui peuvent dans certains cas fournir une représentation plutôt fidèle de la répartition des éclairages dans l'espace (Radiance, Superlite). Ces logiciels, bien que parfois très performants, requièrent un apprentissage particulier afin qu'ils puissent être utilisés pertinemment. Il existe d'autre part des règles de pouces, tableaux, graphiques pouvant fournir des résultats approximatifs pour les étapes initiales du design (Brown, De Kay, 2001, Tregenza et Loe, Selkowitz, 1997). Ces derniers s'adressent plus spécifiquement aux étapes initiales de la conception architecturale et peuvent plus facilement être utilisées couramment dans la pratique professionnelle. Afin de simplifier l'acquisition de résultats significatifs et immédiats pour la conception initiale de projets architecturaux, LUMcalcul est développé sous forme de feuille Excel, logiciel versatile et accessible à un grand nombre d'utilisateurs architectes et étudiants qui désirent l'adapter à leurs besoins (figure 2). LUMcalcul

s'inspire entre autres de la *LT (light thermal) method* (Baker et. Al., 1993) développée au Martin Centre de l'Université de Cambridge, mais de manière plus spécifique et détaillée pour la lumière naturelle. Les variables considérées proviennent de variables issues des équations de David Loe (BRE, Londres) et de Peter Tregenza (Sheffield University, UK) établies pour déterminer le Facteur Lumière du Jour (FLJ) d'espaces intérieurs. Le ciel de type couvert est donc utilisé par LUMcalcul puisqu'il présente des conditions critiques de design, en particulier pour les aspects qualitatifs de la lumière. La condition de ciel couvert permet l'obtention de résultats sous forme de Facteur lumière du Jour (FLJ), lequel traduit particulièrement bien une problématique architecturale puisqu'il définit une relation visuelle existant l'intérieur et extérieur. Le FLJ (figure 1) possède une signification quantitative et qualitative puisque la relation intérieur/extérieur s'affirmera d'autant plus que la valeur du FLJ sera grande. Cette évidence pour plusieurs spécialistes de l'éclairage permet d'établir un pont conceptuel avec les architectes, lesquels sont aussi sensibles à l'aspect poétique de la rencontre entre l'espace intérieur et l'espace extérieur. L'avantage premier du FLJ est donc de procurer des valeurs relatives et non absolues, un bon indicateur de la relation entre l'intérieur et l'extérieur. Les valeurs absolues ne permettent pas une interprétation correcte de l'environnement visuel car elles ne considèrent pas l'adaptation de l'œil omniprésente en milieu réel (Fontoynt et. Al., 1994). Les valeurs de FLJ peuvent être traduites en lux au besoin en utilisant les valeurs de ciel diffus moyen pour une région en particulier. Les valeurs moyennes publiées par l'Illuminating Engineering Society (IES) ainsi que dans Brown et De Kay (2000) pour chaque latitude sont utilisées par défaut afin de traduire les pourcentages de FLJ en lux. Les valeurs locales plus précises peuvent aussi être utilisées lorsque connues. En complément, une annexe à LUMcalcul permet de calculer la quantité d'énergie nécessaire à l'obtention d'un valeur donnée de FLJ (ou de lux) nécessaire à l'accomplissement d'une tâche en utilisant la méthode Lumen (Tregenza et Loe, 1998).

$$FLJ (\%) = \frac{\text{Éclairage intérieur (lux)}}{\text{Éclairage extérieur (lux)}}$$

Figure 1 : Équation du Facteur lumière du jour.

LUMcalcul permet d'obtenir une analyse quantitative du FLJ. Des résultats qualitatifs en lien à la perception de brillance ainsi qu'à la contribution à l'éclairage

naturel de l'espace étudié (Goulding, 1993; Tregenza et Loe, 1998) sont aussi disponibles, en particulier à titre pédagogique (figure 5). La valeur du FLJ constitue une moyenne pour un espace ou un emplacement étudié puisque le logiciel ne calcule pas la répartition de la lumière dans l'espace. LUMcalcul offre aussi au concepteur l'opportunité d'effectuer une entrée correspondant à une condition souhaitée de FLJ afin de vérifier les variables nécessaires à l'obtention du résultat visé. La réponse d'une simulation renferme alors un résultat relatif par exemple à l'aire d'ouvertures (vitrage) requise pour obtenir un espace d'aspect très brillant. Des messages d'alertes peuvent apparaître, en particulier lors de potentiels risques de surchauffes thermiques dans les configurations simulées. D'autre part, des graphiques présentant la variation du FLJ en fonction des principales variables de design accompagnent les résultats qualitatifs afin de présenter l'influence de chacune d'elle sur le design (Lechner, 1991). Par exemple, la relation entre certaines réflectances de matériaux et le FLJ de l'espace est présentée pour le plafond, et il est alors possible d'en comparer les effets sur la lumière naturelle obtenue dans l'espace.

The screenshot shows the LUMcalcul 2.01 software interface. It is divided into several sections:

- Identification du projet:** Project name, location, and date.
- 1. Définition des surfaces:**
 - Transparence (ouvertures sur l'extérieur):** Tables for surface area and properties (transmittance, reflectance) for different orientations (N, S, E, O) and heights.
 - Opacité:** Tables for surface area and properties for vertical and horizontal surfaces.
- 2. Variables utilisées pour le calcul du Facteur Lumière du Jour (FLJ) moyen:** Input fields for sky type, window area, and material properties.
- 3. Résultats calcul Facteur Lumière du Jour (FLJ):** Summary of current and target FLJ values, window area, and percentage of openings.

Figure 2 : Exemple de feuille d'entrée des données.

SIMULATION

L'équation de Tregenza et Loe pour le Facteur Lumière du Jour est à la base de LUMcalcul :

$$FLJ = \frac{A_g}{A} \frac{\theta \tau}{(1 - \rho^2)}$$

où A_g représente l'aire majorée des éléments de transparence, A est la surface totale de l'espace, θ est l'angle de ciel vu moyen, τ est la transmittance résultante du verre et ρ est la réflectance moyenne des surfaces. Ces paramètres sont décomposés en variables relatives à des éléments de surfaces qui seront spécifiés et qualifiés en fonction des données du projet. Les variables de surfaces sont divisées en deux groupes : l'opacité et la transparence, deux termes au cœur du discours architectural de la lumière dans l'espace.

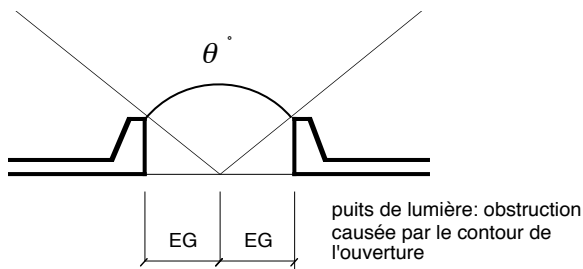


Figure 3 : Angle d'ouverture sur le ciel d'un puits de lumière (d'après Tregenza et Loe, 1998).

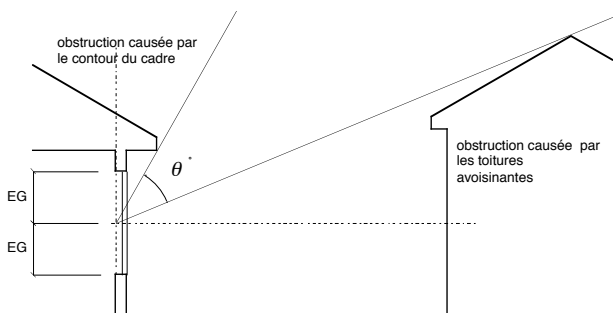


Figure 4 : Angle d'ouverture sur le ciel d'une fenêtre (d'après Tregenza et Loe, 1998).

Une règle de pouce que retiennent particulièrement les architectes dans la conception des ouvertures (éléments transparents tels fenêtres et puits de lumière) est celle de la nécessité de voir le ciel (couvert) pour optimiser les niveaux d'éclairage. Ce besoin, non seulement

humain mais aussi biologique, est nécessaire à l'obtention de valeurs élevées d'éclairages dans les espaces intérieurs (Majoros, 1989). Avec LUMcalcul, cet aspect est présenté sous l'appellation « angle de ciel vu ». Ces angles sont mesurés à partir du centre de la fenêtre (figure 4) ou du puits de lumière (figure 3) et tiennent compte de certains aspects dont l'épaisseur du contour des ouvertures, ainsi que de l'emplacement des obstructions externes. Pour le moment, ces données sont entrées manuellement. Les logiciels plus sophistiqués peuvent fournir une réponse automatiquement en y introduisant le modèle 3D de l'espace, mais l'expérience démontre que l'avantage de vérifier manuellement cette réponse réside dans le fait que les concepteurs sont plus à même de comprendre la manière dont leurs détails architecturaux peuvent affecter les paramètres d'accès à la lumière. Les coefficients d'atténuations sont aussi considérés telles les obstructions causées par les cadres et les membrures, ainsi que le facteur d'entretien lié aux salissures du verre. Des valeurs par défaut sont automatiquement inscrites avec bulles d'explications dans les cases appropriées pour que les concepteurs puissent ajuster ces variables au besoin. Toute modification aux données entraîne un changement immédiat des résultats de simulation.

3. Résultats calcul Facteur Lumière du Jour (FLJ)

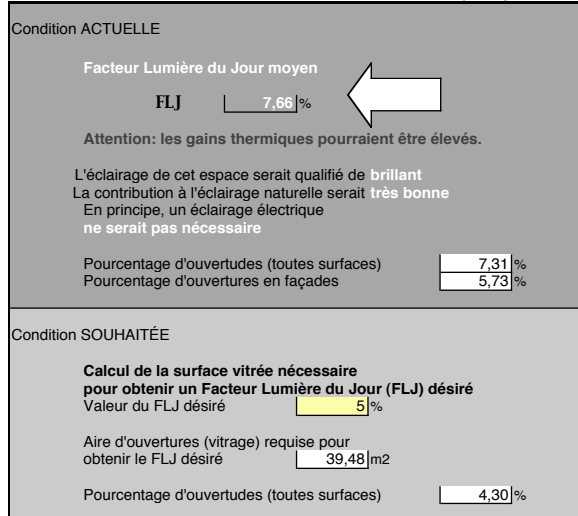


Figure 5 : Résultat d'une simulation, projet CTBO.

Une autre forme de présentation des résultats prend la forme de graphiques mettant en relation des variations apportées à certains paramètres clés de la conception architecturale, dont certains sont présentés aux figures 6, 7, et 8. Ces graphiques sont générés automatiquement et permettent un coup d'œil rapide d'alternatives envisageables pour le développement du

projet. Il est par exemple possible d'obtenir la courbe de variation du Facteur lumière du jour en fonction des réflectances moyennes des surfaces (figure 6). Ce graphique illustre que des surfaces de réflectances 0% à 50% présentent des résultats de FLJ comparables alors que les réflectances de plus de 50% influencent le FLJ de manière remarquable. L'architecte peut alors comprendre rapidement l'impact de la variable et pouvoir immédiatement juger de la pertinence d'obtenir des matériaux aux fins de réflectances plus élevées pour l'espace à réaliser.

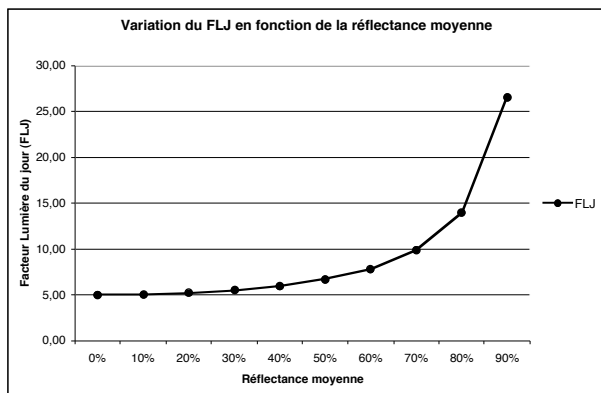


Figure 6 : Graphique du FLJ en fonction de l'augmentation de la réflectance moyenne des surfaces.

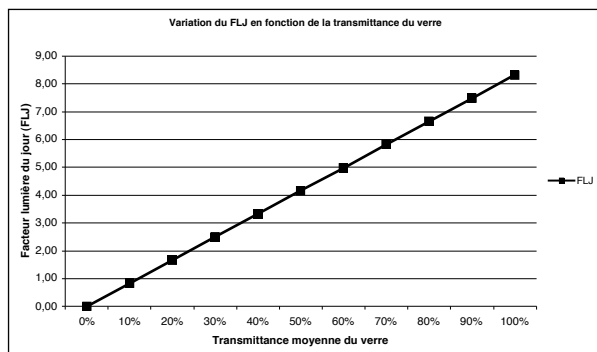


Figure 7 : Graphique du FLJ en fonction de la transmittance du verre.

Des graphiques similaires existent pour d'autres variables telle la transmittance du verre (figure 7). L'exemple présenté permet de comparer différentes transmittances en relation au FLJ. Il s'agit de transmittances théoriques, c'est-à-dire qu'un verre de transmittance égale à 0% correspondrait à un élément opaque, donc à l'absence de fenêtre, alors qu'une transmittance égale à 100% représenterait une ouverture (fenêtre) qui ne possède aucun verre. Ces conditions théoriques sont particulièrement importantes durant les étapes initiales de la conception

architecturale. Le graphique de la variation de la dimension des ouvertures (figure 8) présente deux droites, l'une pour les résultats relatifs aux surfaces latérales (éclairage en provenance des murs) et l'autre pour la surface zénithale (éclairage en provenance du plafond). Il permet de comparer et de mettre en relation ces deux ouvertures en fonction du FLJ résultant de l'espace.

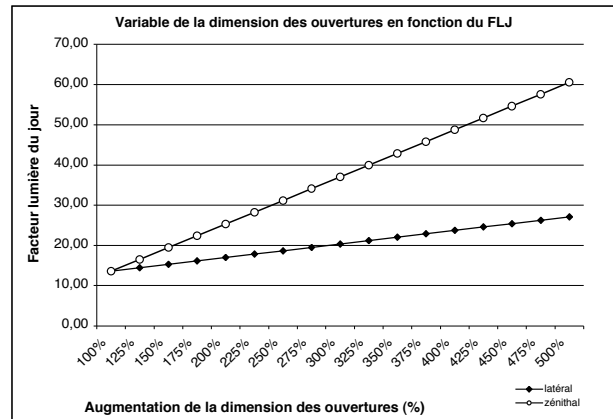


Figure 8 : Variation du FLJ en fonction de la dimension des ouvertures latérales et zénithales.

Dans le cas illustré, les puits de lumière (figure 8, droite référant à la surface zénithale) sont représentés comme étant significativement contributeurs au FLJ en rapport aux ouvertures latérales. Par exemple, lorsque la dimension du puits de lumière est doublée (200%), le FLJ passe d'environ 7% à 12%, puis à 500%, le FLJ passe à 27%. En se référant au même graphique, il est possible de prédire que pour l'espace de l'atelier étudié, un puits de lumière 5 fois plus grand que la dimension initiale (500%) occuperait la plus grande partie du plafond et pourrait alors suggérer une typologie d'espace qui correspond à un atrium. L'étude de ces variations est très pertinente pour un projet lors des étapes initiales alors que toutes les opportunités peuvent encore être envisagées. Enfin, puisque la feuille de calcul est très versatile, il est possible de générer d'autres études paramétriques en fonction des besoins particuliers d'un projet.

VALIDATION EXPÉRIMENTALE

Dans le cadre de la conception architecturale du Centre de Traitement du Bois Ouvré (CTBO), LUMcalcul permettait entre autres d'établir et de vérifier l'efficacité lumineuse de l'ajout de puits de lumière comme source première d'éclairage naturel dans les espaces d'ateliers lourds. Des simulations relatives aux dimensions de ces puits, de la configuration en relation à l'angle d'ouverture sur le ciel, des types de verres utilisés, et des réflectances des surfaces ont été

effectuées et comparées aux solutions utilisant des ouvertures plus grandes en façade. À la suite de plusieurs simulations avec LUMcalcul, quelques propositions ont par la suite été validées à l'aide du ciel artificiel de l'Université Laval (figure 9) pour étudier de manière plus détaillée et particulière les effets de lumière. Ces analyses ont permis de déterminer de manière spécifique l'emplacement et la forme des ouvertures en relation à la configuration particulière de l'espace. Elles ont en outre procuré des réponses qualitatives concernant le rendement lumineux des propositions étudiées (Demers, 1997). L'approche proposée pour l'étude des ambiances lumineuses en maquettes est de type paramétrique expérimental dans laquelle différentes variables pré-identifiées sont modifiées pour atteindre des résultats jugés optimaux. Le ciel artificiel de l'École d'architecture est utilisé pour simuler un ciel couvert de courbe calibrée CIE. Une maquette (figure 10) a été construite pour la présente étude: une section typique entière ateliers a été modélisée à l'échelle 1:50. Cette échelle a été choisie pour la facilité d'observation et des différents réflecteurs et ouvertures étudiés. La maquette est démontable de manière à pouvoir vérifier différentes alternatives de design. De plus l'ensemble des façades voisines du bâtiment ont aussi été construites en ciel artificiel afin de représenter l'effet d'occultation du contexte sur la performance lumineuse du bâtiment. La maquette est construite selon les standards de la DNNA (Daylighting Network of North America) tels que décrits par Schiler (1992) et Littelfair (1989). Un carton opaque neutre de 50% de réflectance est utilisé pour la construction des murs tandis que de l'acrylique transparent de 3 mm d'épaisseur est utilisé pour les ouvertures. La transmittance visuelle (V_t) de cet acrylique correspond à 92%, soit environ celle d'un verre simple clair. Le diamètre des sondes est de 2,38 mm, ce qui est idéal pour l'étude de maquette à l'échelle minimale de 1:50. A cette échelle, la hauteur de la sonde correspond à la hauteur type d'une surface de travail. Les mesures effectuées de type tramées sont caractérisées par l'usage de plusieurs mesures effectuées sur une trame préétablie de lignes et de colonnes. Quinze points de mesures sont relevés à l'intérieur d'un atelier typique et 3 autres dans le corridor adjacent à l'espace (figure 11). Ce nombre important de données assure aussi une information plus précise de l'effet des puits de lumière et du mur fenestré sur l'éclairage horizontal en réponse à la répartition de lumière. Le processus expérimental requiert cependant un certain temps avant d'obtenir des résultats significatifs. Tout comme avec un logiciel de simulation de grande précision, le temps requis à la construction du modèle ainsi qu'à l'acquisition de données peut exiger certains efforts. Le temps impliqué limite l'interactivité entre la création architecturale et

l'analyse des résultats. Il en va de même pour la prise de données, qui doit être réalisée avec une certaine minutie pour tirer profit de la méthode. Pour le CTBO, LUMcalcul ne fournissait que des données moyennes de FLJ, mais permettait de prédire certains résultats et ainsi de limiter le nombre de simulations à effectuer expérimentalement.



Figure 9 : Ciel artificiel, Université Laval.



Figure 10 : Maquette d'un atelier typique du CTBO montrant une proposition de puits de lumière en toiture ainsi qu'une configuration de fenêtres en façade.

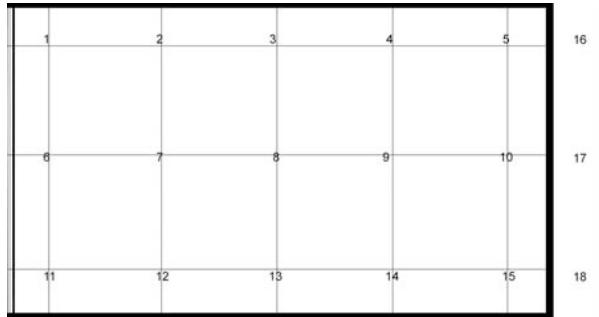


Figure 11 : Plan de positionnement des sondes photométriques dans la maquette. Dans la portion de droite : sondes 16, 17 et 18 situées dans le corridor.

Position	FLJ
Atelier	7,88% moy
1	5,84%
2	5,34%
3	6,65%
4	7,72%
5	6,92%
6	6,89%
7	7,34%
8	11,69%
9	14,36%
10	13,38%
11	5,66%
12	5,11%
13	6,72%
14	7,84%
15	6,79%
Corridor	5,25% moy
16	5,34%
17	4,96%
18	5,46%

Figure 12 : Exemple de feuille de données d'une expérimentation en maquettes. Les données en lux obtenues à partir d'études photométriques ont été converties en FLJ. Le FLJ moyen pour chaque espace apparaît dans la zone grise.

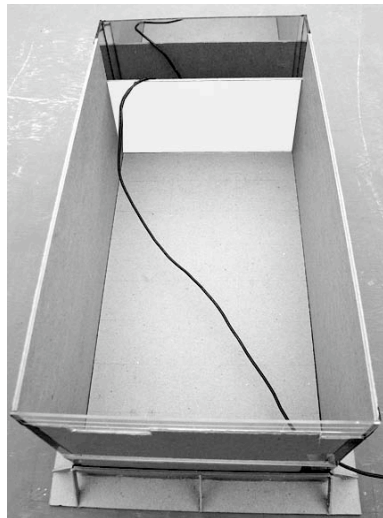


Figure 13 : Intérieur de la maquette, présentant ici la possibilité d'insérer les sondes photométriques et de modifier la réflectance de surfaces intérieures. Mur du fond à 80% et autres surfaces à 50%.

RÉSULTATS

Plusieurs configurations spatiales ont été étudiées avec LUMcalcul et par la suite de manière expérimentale en ciel artificiel. Le présent article présente les résultats obtenus pour une configuration particulière d'un espace d'atelier typique du Centre de Traitement du Bois Ouvré (CTBO) où des variables identiques ont été comparées avec les deux méthodes de prédiction de la lumière naturelle. Toutes les illustrations présentées dans le présent document relatent d'ailleurs de cette configuration étudiée. L'analyse des résultats de deux méthodes de prédiction, soient LUMcalcul constituant une estimation du FLJ moyen d'un espace et d'autre part le ciel artificiel procurant des résultats reconnus comme étant très probants, permet de comparer l'une à l'autre. Deux types d'analyses seront comparées afin de valider LUMcalcul:

- analyse générale (espace en entier)
- analyse locale (zone de l'espace)

L'analyse générale relève du FLJ moyen et présente une analyse générale de l'éclairage naturel de l'espace en entier. L'analyse locale réfère à une zone de l'espace étudié et permet de vérifier en un secteur particulier le FLJ.

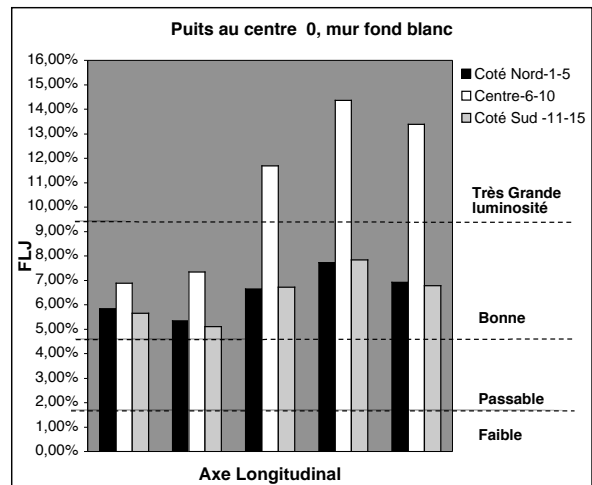


Figure 14 : Expérimentation en ciel artificiel : répartition des données de FLJ en fonction de la position des points relevés dans l'espace.

Analyse générale:

Les données numériques recueillies pour chaque simulation permettent de calculer le FLJ (Facteur lumière du jour) aux différents points de l'espace (figure 12). Le graphique (figure 14) présente l'ensemble des données pour trois séries de mesures photométriques effectuées selon l'axe longitudinal de l'atelier. Les données présentées vers la gauche du

graphique (figure 14 : positions 1, 6 et 11) sont celles qui sont situées près de la façade fenestrée alors que les données allant vers la droite sont plus particulièrement situées tout juste sous le puits de lumière au centre de l'espace (positions 8, 9, et 10). Le graphique (figure 15) présente la répartition de ces mêmes données du FLJ en trois dimensions. Les graphiques présentant des données en fonction de la position des points relevés dans l'espace illustrent d'importantes variations du FLJ, en particulier sous la zone éclairée par le puits de lumière. Les valeurs de FLJ les plus faibles sont d'au moins égales à 5% alors que les plus élevées atteignent 14%. La valeur du Facteur lumière du jour (FLJ) moyen de l'atelier simulé en ciel artificiel est mesuré à partir de 15 points de relevés. Le résultat obtenu est de 7,88% (figure 12) alors que les simulations effectuées avec LUMcalcul pour les mêmes variables prédisent un FLJ de 7,66%. La différence entre ces résultats est de 2,79%. D'autres comparaisons ont été effectuées pour le même projet produisant des résultats dont les variations moyennes sont relativement constantes, soient d'environ 3%.

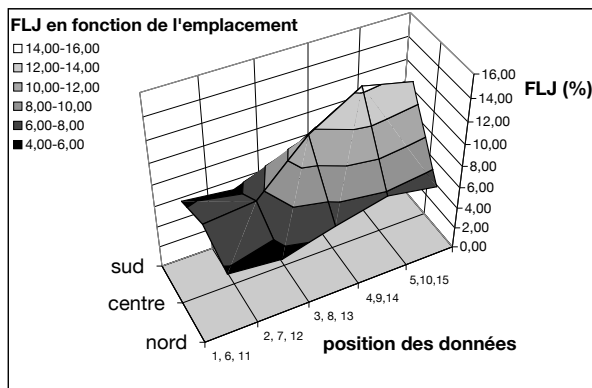


Fig. 15 : Expérimentation en ciel artificiel : graphique du FLJ en fonction de la position de la sonde photométrique.

Analyse locale :

Les prédictions de LUMcalcul présentées précédemment n'illustraient pas l'amplitude des variations enregistrées dans les données (figures 12, 14 et 15). Il pourrait cependant être intéressant pour un concepteur de vérifier le FLJ dans une zone de l'espace afin d'obtenir une approximation du FLJ de manière locale. Dans l'espace de l'atelier du CTBO (figure 10), il pourrait par exemple être intéressant de prédire le FLJ dans la zone située immédiatement sous le puits de lumière. Puisque LUMcalcul est un modèle théorique, il est possible d'y inscrire un espace théorique représentant un sous-espace de l'atelier. Cela est possible en particulier puisque les angles du ciel vu

sont calculés à partir des surfaces intérieures des ouvertures (figures 3 et 4), ce qui n'affecte pas la position des points de relevés dans l'espace. La zone identifiée en gris sur le plan de l'atelier (figure 16) mesure environ 1/3 de la largeur et 3/5 de sa longueur de l'espace original. Les variables d'opacité et de transparence des surfaces entourant ce nouveau volume sont proportionnellement réduites alors que le puits de lumière est dans le cas présent de dimension intégrale. Avec ces nouvelles données, LUMcalcul estime que le FLJ moyen pour la zone sélectionnée est de 13,60% (figure 17). La moyenne du FLJ obtenue expérimentalement en ciel artificiel aux positions 8, 9 et 10 est calculée d'après les données du tableau 12 et correspond à une résultante de 13,14%. Il s'agit cependant d'une moyenne effectuée à partir d'uniquement 3 données, ce qui peut présenter des risques d'erreurs au niveau des manipulations expérimentales 5 fois plus élevés que lors de l'analyse générale, laquelle comportait 15 positions relevées. La variation entre les deux méthodes de prédiction (LUMcalcul et ciel artificiel) pour l'analyse locale est donc de 3,5%, ce qui est très acceptable pour un outil de conception architecturale. Il serait intéressant de poursuivre les vérifications avec un nombre supérieur de points de relevés en ciel artificiel.

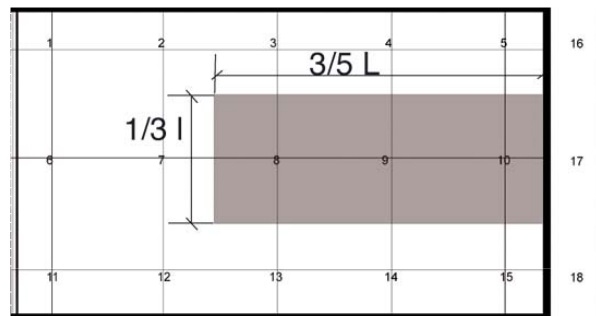


Figure 16 : Présentation de la zone d'étude du FLJ localement sous le puits de lumière, emplacements des sondes 8, 9 et 10.

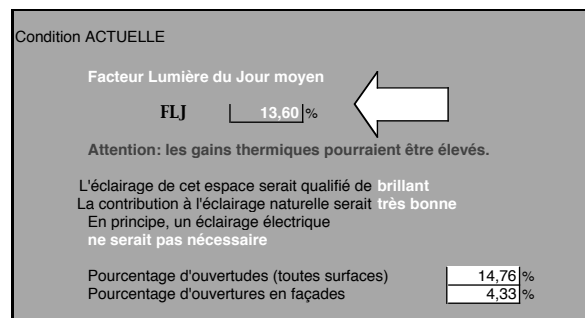


Figure 17 : Résultat obtenu pour la zone d'étude illustrée à la figure 16.

CONCLUSIONS

Le projet du Centre de Traitement du Bois Ouvré (CTBO) de l'Université Laval a permis de développer et de valider LUMcalcul avec des expérimentations effectuées en ciel artificiel. Pour les expérimentations en laboratoire, des sondes calibrées CIE (Commission Internationale de l'Éclairage) ont été utilisées et un protocole expérimental reconnu (Schiler, 1992; Littlefair, 1989) a été suivi. Deux types de validation ont été présentés et illustrés à l'aide d'une des configurations d'espaces d'atelier étudiées pour le projet du CTBO, soient : une analyse générale d'un espace, ainsi que l'analyse locale d'une zone de l'espace. L'analyse générale est effectuée à partir de 15 positions de relevés et démontre que la variation entre les résultats de FLJ obtenus avec les méthodes de prédiction selon LUMcalcul et le ciel artificiel variait d'environ 3%. L'analyse locale comporte un facteur d'erreur expérimental plus élevé puisque les données recueillies ont été effectuées à partir d'uniquement 3 positions de relevés. L'exemple illustré présente un pourcentage de variation entre les deux outils de prédiction de 3,5%. Ces variations sont très acceptables pour les étapes initiales de conception architecturale.

Dans le cadre du projet du Centre de Traitement du Bois Ouvré (CTBO), LUMcalcul a permis une discussion entre les intervenants concepteurs et les ingénieurs afin d'établir une stratégie d'éclairage naturel qui correspond bien aux attentes du client, autant en termes quantitatifs que qualitatifs. Les simulations effectuées en ciel artificiel ont confirmé l'intérêt de l'outil. LUMcalcul ne fournit cependant pas de visualisation des résultats lumineux, ce qui limite l'interprétation qualitative des résultats. Les outils tel Radiance, ainsi que les photographies de maquettes permettent d'obtenir une analyse qualitative plus exhaustive et plus précise.

LUMcalcul a cependant l'avantage d'être versatile et facile d'accès pour tout concepteur n'ayant aucune connaissance de la simulation ou des principes d'éclairage. L'utilisateur novice peut d'ailleurs s'en tenir à la case de résultats préliminaires illustrée aux figures 5 et 17. Des valeurs par défaut sont utilisées pour certaines variables ainsi que des encadrés sont accessibles au besoin pour assister les concepteurs alors que les plus expérimentés pourront s'attarder davantage à l'utilisation de graphique. LUMcalcul offre même le potentiel d'être modifié en fonction de demandes plus spécifiques des concepteurs, par exemple en limitant l'étude à une zone de l'espace étudié (voir résultats : analyse locale, et figure 16). LUMcalcul permet donc le transfert de connaissances avec étudiants et professionnels et devient un outil pédagogique permettant de discuter les concepts d'éclairage en

rapport aux étapes initiales de conception architecturale, tout en demandant peu de temps (modélisation, acquisition de connaissance) avant d'obtenir des résultats.

RÉFÉRENCES

- Baker, Nick, A. Fanchiotti and Koen Steemers, (1993), *Daylighting in Architecture: A European Reference Book*, Commission of the European Communities, Directorate-General XII for Science and Research and Development, James & James (Science Publishers) Ltd, Brussels and Luxembourg.
- Baker, N., Steemers, Koen, (1993), « The LT Method 2.0, An Energy Design Tool for Non-Domestic Buildings », *General Information Report, Best Practice Programme*, Building Research Conservation Unit (BRECSU), Building Research Establishment, UK.
- Brown, GZ and Mark DeKay, (2001), *Sun, Wind & Light : Architectural Design Strategies* (second edition), John Wiley & Sons, New York.
- Demers, Claude MH, (1997), *The Sanctuary of Art : images in the design and assessment of light in architecture*, PhD Thesis, University of Cambridge, UK.
- Fontoynt, Baker, et.al., (1994), *Daylighting in Buildings*, Energy Research Group, Thermie Programme Action, The European Commission, Directorate for Energy (DGXVII), Dublin, Ireland.
- Goulding (1993) dans *Energy in architecture*.
- IES (Illuminating Engineering Society) *Lighting Reference Handbook*, (1999).
- Lechner, Norbert, (1991), *Heating, cooling, lighting: design methods for architects*, John Wiley & Sons, New York.
- Littlefair, Paul J., (1989), "Measuring daylight: the effective use of scale models" in *Daylighting buildings*, conference proceedings, Brian Norton & Hugh Lockhart-Ball, Imperial College, London, April, pp. 43-54.
- Majoros, Andras, (1998), *Daylighting*, PLEA (Passive Low Energy in Architecture) note 4, with the University of Queensland Department of Architecture
- Selkowitz, Stephen, (1997), *Tips for Daylighting with windows : an integrated approach*, LBL (Lawrence Berkeley Laboratory, LBNL-39945, University of Berkeley, California.
- Schiler, Marc, (1992), *Simplified design of building lighting*, John Wiley & Sons, Inc., New York, Chichester.
- Tregenza, Peter, and David Loe, (1998), *The Design of lighting*, E & FN Spon, London and New York.