

**Zumtobel Research**

Étude sur l'influence d'un système de commande  
de l'éclairage et de protection solaire sur la consom-  
mation énergétique d'un immeuble de bureaux

AJ INGENIERÍA José Luis Hernández, Barcelone | ES

CREVER groupe de recherche en ingénierie thermique appliquée, Barcelone | ES

URV Universitat Rovira i Virgili de Taragone | ES

Janvier 2012

ISBN 978-3-902940-25-4



<b>Historique</b>			5
<b>1 Objectif de l'étude</b>			6
<b>2 Auteur de l'étude</b>			7
<b>3 Méthode de travail</b>	3.1	Outils informatiques utilisés	8
	3.2	Modèles de simulation	10
<b>4 Description de l'immeuble</b>	4.1	Description de l'immeuble AVANT la rénovation	12
	4.1.1	Description de l'immeuble	12
	4.1.2	Systèmes de construction	12
	4.1.3	Installations	13
	4.2	Description de l'immeuble APRÈS la rénovation	14
	4.2.1	Description de l'immeuble	14
	4.2.2	Systèmes de construction	14
	4.2.3	Installations	17
<b>5 Données d'entrée</b>	5.1	Données climatiques	26
	5.2	Configuration géométrique et répartition en zones	27
	5.3	Enceintes opaques	28
	5.4	Vitrages	29
	5.5	Dispositifs d'ombrage	30
	5.6	Gains internes par les personnes	31
	5.7	Gains internes par les appareils et installations	32
	5.8	Gains internes par l'éclairage	33
	5.9	Système de CVC	34
<b>6 Résultats</b>	6.1	Consommation énergétique globale	35
	6.2	Bilans thermiques du bâtiment	36
	6.3	Bilans thermiques d'une ZONE représentative disposant du système de lamelles mobiles	40
	6.4	Comparaison entre les valeurs simulées et mesurées de la consommation énergétique de l'éclairage	42
<b>7 Conclusions</b>	7.1	Scénarios du BÂTIMENT	45
	7.1.1	Analyse du scénario 03 (bâtiment actuel, avec lamelles, sans commande) - NIVEAU BÂTIMENT	46
	7.1.2	Analyse du scénario 04 (bâtiment actuel, sans lamelles, avec commande) - NIVEAU BÂTIMENT	48
	7.1.3	Analyse du scénario 05 (bâtiment actuel, avec lamelles, avec commande) - NIVEAU BÂTIMENT	49
	7.2	Scénarios d'une ZONE	50
	7.2.1	Analyse du scénario 03 (bâtiment actuel, avec lamelles, sans commande) - NIVEAU ZONE	51
	7.2.2	Analyse du scénario 04 (bâtiment actuel, sans lamelles, avec commande) - NIVEAU ZONE	51
	7.2.3	Analyse du scénario 05 (bâtiment actuel, avec lamelles, avec commande) - NIVEAU ZONE	52
	7.3	Résumé des résultats	52



Photos du bâtiment. En haut, le bâtiment dans son état d'origine. En bas, le bâtiment après sa rénovation.

L'entreprise LUXMATE a chargé AJ Ingeniería, S.L.P. de réaliser une étude sur l'influence des systèmes de commande de l'éclairage et de protection solaire installés dans le bâtiment central du « Serveis Territorials del Departament de Treball de la Generalitat de Catalunya » à Barcelone.

Le bâtiment en question a été rénové il y a peu et dispose d'un système LUXMATE qui régule la lumière artificielle en fonction de la lumière du jour pénétrant par les fenêtres.

De plus, deux façades du bâtiment sont équipées de lamelles motorisées qui s'ouvrent et se ferment en fonction de la position du soleil pour protéger d'une part contre l'éblouissement et d'autre part contre un échauffement excessif dû au rayonnement solaire incident.

#### **Données du bâtiment**

- Emplacement : C/ Carrera Nr. 12-24 , 08004 - Barcelone
- Utilisation : siège du « Serveis Territorials del Departament de Treball de la Generalitat de Catalunya ». Utilisation administrative. Zones ouvertes au public.
- Surface bâtie : 6800 m<sup>2</sup>
- Vaste projet de rénovation et de façade : AJ INGENIERIA, S.L.P.
- Architecture : Joan Francesc Serra Andreu, architecte
- Équipements / installations : Juan Hernandez Mayor, Dr. Ing. Ind.
- Coûts globaux de la rénovation : 6 570 000 €
- Fin des travaux de construction : 2009

# 1 Objectif de l'étude

L'objectif de l'étude est de déterminer l'incidence d'un système de commande de l'éclairage et de protection solaire de façades vitrées sur la charge énergétique d'un bâtiment.

À cet effet, des simulations énergétiques de l'immeuble ont été réalisées sur la base des systèmes de commande installés, afin d'évaluer tant séparément que conjointement leurs effets sur la charge énergétique du bâtiment en termes d'éclairage et de climatisation.

L'objectif principal de cette étude est de trouver des synergies entre le système de l'éclairage et d'autres systèmes consommateurs d'énergie, la climatisation par exemple, afin de réaliser des économies d'énergie.

Pour la simulation d'un bâtiment réel avec un système de commande LUXMATE, on disposait d'un registre de la consommation de courant de l'éclairage couvrant une année complète (de mai 2010 à mai 2011) et pouvant être comparé avec les données acquises lors de la simulation. Par la suite, la convergence des résultats est vérifiée, ce qui permet d'obtenir des valeurs extrêmement fiables pour les autres résultats de consommation énergétique obtenus par la simulation.

La présente étude a été réalisée par AJ INGENIERÍA S.L.P. en collaboration avec le groupe d'ingénierie thermique appliquée CREVER de la URV (Université Rovira i Virgili) Tarragone (Espagne).

CREVER a assuré la simulation du bâtiment avec DesignBuilder et EnergyPlus sous la supervision du bureau AJ INGENIERÍA S.L.P., qui a également mis les données à disposition.

L'évaluation des résultats obtenus à l'aide de la simulation énergétique réalisée par CREVER a également été effectuée par AJ INGENIERÍA S.L.P.

Aussi, les graphiques et tableaux utilisés proviennent de la simulation de CREVER.

Bureau d'ingénierie en installations et énergie, créé en 1979 par Ángel González Toro et Juan Hernández Mayor à Barcelone (Espagne).

Élabore depuis plus de 30 ans des projets d'exécution d'installations électriques et mécaniques, d'installations spéciales ainsi que de dispositifs de protection contre l'incendie pour le secteur résidentiel, tertiaire et industriel.

Auteur de l'étude : José Luis Hernández Yuste, ingénieur en économie

Supervision et direction : Juan Hernández Mayor, Dr.- Ing.

Le groupe de recherche en ingénierie thermique appliquée est un groupe de recherche interdisciplinaire de l'université Rovira i Virgili Tarragona, qui se consacre à la recherche et au développement de nouvelles technologies pour les énergies renouvelables ainsi qu'à l'amélioration de l'efficacité énergétique.

Auteur de l'étude : Arturo Ordóñez García, architecte

Supervision et direction : Alberto Coronas Salcedo, directeur de CREVER et professeur à l'URV.



## 3 Méthode de travail

### 3.1 Outils informatiques utilisés

Pour atteindre les objectifs fixés, on a eu recours à un procédé d'analyse sur la base de simulations énergétiques dynamiques pour lesquelles on a utilisé le programme DesignBuilder avec le moteur de calcul EnergyPlus intégré.

#### **DesignBuilder**

DesignBuilder est un programme développé il y a près de sept ans par l'entreprise du même nom établie à Gloucestershire (Angleterre). Dès le début, un des principaux objectifs des développeurs était de créer une interface conviviale pour EnergyPlus, un programme entièrement intégré dans sa plate-forme. Toutefois des modules indépendants, comme le module de certification SBEM et le module DFC sont également intégrés dans le programme.

Informations complémentaires sous :  
[www.designbuilder.co.uk](http://www.designbuilder.co.uk) et [www.sol-arq.com](http://www.sol-arq.com)

#### **EnergyPlus**

EnergyPlus est un programme développé par le laboratoire national Orlando Lawrence Berkeley pour le ministère de l'Énergie des États-Unis. Il comprend plusieurs modules qui calculent ensemble l'énergie nécessaire pour refroidir ou chauffer un bâtiment, dans le but d'obtenir un niveau de confort optimal en utilisant une multitude de ressources et de systèmes énergétiques. Un modèle de bâtiment, basé sur les principes de base du bilan énergétique, constitue le cœur du programme.

Le programme offre une simulation intégrale. Cela signifie que les trois volets principaux de la simulation, à savoir les zones du bâtiment, le système de gestion de l'air et les installations de climatisation sont calculés simultanément (contrairement aux programmes précédents DOE-2 et BLAST, qui calculaient ces trois volets l'un à la suite de l'autre et sans le moindre retour d'informations).

Pour calculer les flux thermiques à travers les éléments de construction, EnergyPlus utilise un système de fonctions de transfert de la chaleur basé sur une méthode connue sous le nom de « state space », qui permet de tenir compte des processus dynamiques impliqués y compris de la masse thermique efficace.

Il s'agit de surcroît d'un outil extrêmement performant pour l'évaluation du rendement thermique de bâtiments passifs (sans systèmes de climatisation mécaniques) qui, outre l'estimation précise de l'effet du rayonnement solaire, calcule également les courants d'air extérieurs avec le module AIRNET. Par la prise en considération d'aspects tels que la pression du vent et l'effet de cheminée, il est possible d'évaluer les avantages d'une aération naturelle, y compris de sa combinaison avec des systèmes de construction ayant une masse thermique efficace élevée.



EnergyPlus a été reconnu par différentes normes industrielles comme ASHRAE Research Project 865, ANSI/ASHRAE Standard 140-2007 et IEA BESTest (Building Energy Simulation Test).

Informations complémentaires sous :

<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus>

### **Slab**

Le programme Slab est un outil d'aide d'EnergyPlus qui permet de calculer à l'aide d'un moteur de calcul tridimensionnel la moyenne des températures mensuelles des surfaces extérieures (de bâtiments) en contact avec le sol. Il utilise les mêmes fichiers de données climatiques horaires qu'EnergyPlus (au format .epw).

De plus amples informations figurent dans le document de EnergyPlus Auxiliary Programs, à consulter sous :

<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/documentation.cfm>

### **Weather Tool**

Weather Tool est un programme développé par l'entreprise Square One en Angleterre. Il s'agit pour l'essentiel d'un outil de visualisation et d'analyse d'informations climatiques sur la base des données temporelles au format .epw d'EnergyPlus (des données dans d'autres formats peuvent toutefois également être importées). Il offre un grand éventail d'options de visualisation y compris des graphiques bi- et tridimensionnels ainsi que des graphiques du vent et des diagrammes de trajectoires solaires.

Informations complémentaires sous :

<http://ecotect.com/products/weathertool>

## 3.2 Modèles de simulation

Pour évaluer l'influence des stratégies de commande de l'éclairage et de protection solaire sur la charge énergétique du bâtiment, étudiées séparément et conjointement, on a élaboré 5 scénarios de modélisation du bâtiment sur la base de la distribution du bâtiment et des installations effectivement prévues :

- Scénario 01 : bâtiment d'origine (avant la rénovation), sans lamelles mobiles et sans commande de l'éclairage
- Scénario 02 : bâtiment actuel rénové, sans lamelles mobiles et sans commande de l'éclairage
- Scénario 03 : bâtiment actuel rénové, avec lamelles mobiles, sans commande de l'éclairage
- Scénario 04 : bâtiment actuel rénové, sans lamelles mobiles, avec commande de l'éclairage
- Scénario 05 : bâtiment actuel rénové avec lamelles mobiles et avec commande de l'éclairage

La consommation énergétique de l'éclairage et de la climatisation a été analysée pour chaque scénario. L'analyse ne tient toutefois pas compte de la consommation d'appareils (divers) et des ascenseurs, étant donné que ceux-ci ne font pas l'objet de cette étude.

Ces scénarios doivent permettre d'évaluer les effets des principales stratégies d'amélioration, considérées séparément et conjointement.

Le scénario 02 permet d'évaluer l'effet des modifications dans la composition des murs extérieurs et du vitrage après la rénovation.

Le scénario 04 définit l'effet d'un système de commande de l'éclairage sans utilisation de lamelles mobiles, afin de déterminer de manière isolée l'effet d'un système de commande de l'éclairage.

Le scénario 03 évalue par contre l'effet du système à lamelles mobiles sans commande de l'éclairage, pour déterminer isolément l'effet de ce système.

Finalement, le scénario 05 permet d'évaluer l'effet de la combinaison du système à lamelles mobiles et de la commande de l'éclairage.

Signalons que dans les scénarios 01, 02 et 03, dans lesquels l'immeuble est simulé sans système de protection solaire à lamelles extérieures, un système de rideaux intérieurs translucides de type jalousie a été utilisé.

En ce qui concerne les systèmes d'éclairage simulés, dans tous les scénarios, on a supposé une charge d'éclairage ( $W/m^2$ ) équivalente à celle de l'installation effectivement installée dans l'immeuble. Même dans le scénario 01 (avant la rénovation), on a supposé la même charge d'éclairage de sorte que dans ce cas, l'amélioration apportée par la meilleure efficacité énergétique des luminaires et appareillages électroniques utilisés après la rénovation n'a pas été prise en compte. L'horaire de fonctionnement de l'installation considéré correspond aux données mises à disposition par l'utilisateur du bâtiment et va être détaillé plus loin.

En ce qui concerne les systèmes de climatisation, toutes les simulations s'effectuent mécaniquement, autrement dit en tenant compte de l'utilisation de systèmes de chauffage et/ou de refroidissement permettant d'assurer pendant toutes les heures d'occupation et durant toute l'année un confort optimal. Dans ce cas, la consommation énergétique liée aux systèmes de climatisation est l'information essentielle pour l'évaluation et la comparaison du rendement énergétique des différents scénarios.

Le système de climatisation est le même dans tous les scénarios, de sorte que l'amélioration de l'efficacité du fait du meilleur rendement énergétique des nouveaux appareils du système CVC n'est pas prise en compte. Par conséquent, l'influence de chaque mesure d'amélioration (commande de l'éclairage et/ou lamelles mobiles) peut être constatée avec précision, du fait que le système de climatisation de référence est le même dans tous les scénarios.

## 4 Description de l'immeuble

### 4.1 Description de l'immeuble AVANT la rénovation

#### 4.1.1 Description de l'immeuble



L'immeuble comprend un rez-de-chaussée, un entresol, 4 étages standard et 2 sous-sols. Il est disposé autour de deux noyaux de communication verticaux. Les deux sous-sols sont utilisés comme parkings avec 120 emplacements au total. Le rez-de-chaussée occupant toute la profondeur du terrain et les étages standard sont utilisés comme bureaux.

L'immeuble a une superficie d'environ 6 000 m<sup>2</sup>.

L'immeuble est disposé autour de deux noyaux de communication, chacun disposant d'un cage d'escalier, de deux ascenseurs, d'installations sanitaires et de puits verticaux pour les équipements prévus.

#### 4.1.2 Systèmes de construction

##### **Structure**

Piliers et poutres portantes en béton armé.

##### **Planchers**

Béton armé en structure réticulée avec caissons de mortier, formant des entraxes de 80 cm. Le plancher fait 22 cm + 4 cm de couche de compression.

##### **Murs extérieurs**

- Façade arrière : 1/4 de mur, chambre d'air avec isolation en polystyrène expansé de 3 cm, finition extérieure en briques creuses enduites d'un côté. La structure métallique est posée de l'extérieur.
- Façade principale : constituée d'un quart de mur, d'une chambre d'air avec isolation en polystyrène expansé de 3 cm, d'un mur en briques creuses de 14 cm d'épaisseur et d'un revêtement extérieur en dalles de grès naturel.

##### **Parois de séparation**

- Séparation des bureaux : à l'aide de parois en briques creuses de 14 cm
- Toilettes : 9 cm de briques creuses
- Cages d'escaliers et ascenseur : briques perforées, 14 cm





#### **Toit**

Béton cellulaire de 12 cm en moyenne, avec inclinaison, étanchéement avec des bandes de bitume, isolation thermique avec des panneaux XPS haute densité de 30 mm d'épaisseur, feuille de drainage résistante à la perforation et couche de gravier de 5 cm d'épaisseur moyenne.

#### **Structure métallique extérieure et vitrages**

Structure métallique extérieure en aluminium sans rupture de pont thermique. Climalit 6-6-5 incolore sur la structure métallique extérieure. Verre de sécurité feuilleté 4-4 avec feuille intermédiaire en butyral sur la structure métallique extérieure au rez-de-chaussée, à l'entresol et sur les portes d'entrées.

### 4.1.3 Installations

#### **Éclairage**

- Bureaux : écrans de 120 x 60 cm équipés de 4 tubes fluorescents de 36 W encastrés dans le plafond. Modèle Novalux NLE 436/440. Avec diffuseur à lamelles avec ponts en forme de V. Réactance magnétique.
- Toilettes : sorties pour l'encastrement sous enduit pour lampes E-14 40 W de type Guzzini 8011.
- Halls : luminaires pour encastrement sous enduit avec lampes halogènes 50 W de type Guzzini 8005.

#### **Climatisation**

Unités de répartition à évaporateurs à détente directe, pompes à chaleur. Unités extérieures sur le toit et unités intérieures dans les faux-plafonds des halls et couloirs. 7 appareils par étage.

## 4.2 Description de l'immeuble APRÈS la rénovation

### 4.2.1 Description de l'immeuble



L'immeuble comprend un rez-de-chaussée, un entresol, 4 étages standard et 2 sous-sols. Le bâtiment est disposé autour de deux noyaux de communication. Les deux sous-sols sont utilisés comme parking avec 120 emplacements au total. Le rez-de-chaussée occupant toute la profondeur du terrain et les étages standard sont utilisés comme bureaux.

Distribution des surfaces au-dessus du niveau du sol :

Rez-de chaussée	1 350 m <sup>2</sup>
Entresol	700 m <sup>2</sup>
Premier étage	950 m <sup>2</sup>
Deuxième étage	940 m <sup>2</sup>
Troisième étage	950 m <sup>2</sup>
Quatrième étage	950 m <sup>2</sup>
<b>Total</b>	<b>6 800 m<sup>2</sup></b>

### 4.2.2 Systèmes de construction

#### Structure

La structure (piliers et poutres portantes en béton armé) n'a pas été affectée par la rénovation.

#### Planchers

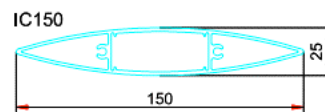
Les planchers (béton armé en structure réticulée avec caissons de mortier formant des entraxes de 80 cm) ne sont pas touchés par la rénovation. (Les planchers ont une épaisseur de 22 cm + 4 cm de couche de compression)

#### Murs extérieurs

- Façade arrière : la façade arrière (avec 1/4 mur, chambre d'air avec isolation en polystyrène expansé de 3 cm et finition extérieure en briques creuses enduites côté extérieur) n'est pas affectée par la rénovation.
- Façade principale : revêtement modulaire des allèges entre les fenêtres de la façade principale (projection verticale) sur la base de :
  1. Dalle extérieure composite en Alucobond Smoke Silver Metallic
  2. Panneau hydrofuge en fibre minérale
  3. Remplissage isolant en laine de roche (100 kg/m<sup>3</sup> - 100 mm)
  4. Panneau intérieur de protection contre le feu en fibrosilicate Promatect

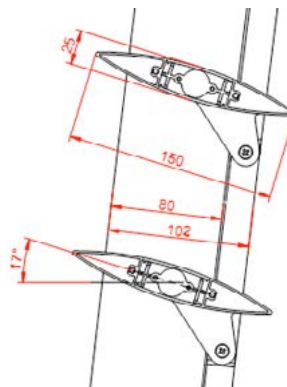


- Protection solaire sur les façades est, sud et sud-ouest (façade en biais). Seconde peau en lamelles pivotantes motorisées, qui sans conteste apportent une plus-value esthétique au bâtiment, réalisent des économies d'énergie extrêmement importantes et augmentent la qualité de vie des personnes se trouvant à l'intérieur du bâtiment. Forme et dimensions des lamelles :

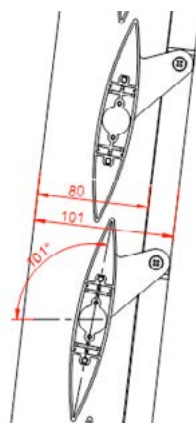


les lamelles sont motorisées, leur mouvement est commandé par le système LUXMATE. Elles servent à protéger la façade du rayonnement solaire et à éviter l'éblouissement des personnes se trouvant à l'intérieur.

Lorsque les lamelles sont entièrement ouvertes, leur position est la suivante :



Lorsqu'elles sont entièrement fermées, leur position est la suivante :



### **Parois de séparation**

- Séparation des bureaux : parois de 80 mm d'épaisseur avec une structure intérieure et extérieure en aluminium galvanisé. Panneaux agglomérés de 13 cm. Isolation intérieure en laine de roche de 50 mm d'une densité de 30/40 kg/m<sup>3</sup>.
- Toilettes : briques creuses de 9 cm
- Cages d'escaliers et ascenseur : ne sont pas affectés par la rénovation (briques perforées de 14 cm)

### **Toit**

Béton cellulaire de 12 cm en moyenne, avec inclinaison, étanchement avec des bandes de bitume, isolation thermique avec des panneaux XPS haute densité de 50 mm d'épaisseur, feuille de drainage résistante à la perforation et couche de gravier de 5cm d'épaisseur moyenne.

### **Structure métallique extérieure et vitrages**

Structure en aluminium avec rupture de pont thermique REYNAERS modèle CS68 couleur RAL 9007.

Vitrage de l'entresol ainsi que du 1<sup>er</sup> au 4<sup>e</sup> étage :

- verre flotté transparent de 6 mm / chambres de 15 mm / verre lamellaire 4+4 Butyral Silence transparent. Faible émissivité.

Vitrage de l'accès sapeurs-pompiers du 1<sup>er</sup> au 4<sup>e</sup> étage :

- verre flotté transparent 6mm trempé / chambres de 15 mm / verre flotté transparent 8 mm trempé

Vitrage sur le mur suspendu du rez-de-chaussée :

- verre lamellaire extérieur 6+6 incolore / chambres 16 mm / verre lamellaire intérieur 6+6 incolore avec protection contre le bruit en butyral. Faible émissivité.

Vitrage de l'entrée au rez-de-chaussée sur la façade en biais du bâtiment :

- verre lamellaire 6+6 incolore, extérieur trempé.



## 4.2.3 Installations

### Éclairage

- Bureaux et espaces ouverts : écrans lumineux de 60 x 60 cm encastrés dans le faux plafond pour 3 tubes fluorescents de type T16, 24 W. Marque LLEDÓ, modèle OD-3281 avec double réflecteur parabolique en aluminium satiné et réactance à réglage numérique - marque TRIDONIC, modèle EXCELL ONE4ALL.
- Toilettes : downlights, marque ZUMTOBEL, modèle PANOS Q LM, 2 x 26 W et/ou 2 x 18 W, avec réactance à réglage numérique - marque TRIDONIC, modèle EXCELL ONE4ALL.

### Système de commande de l'éclairage LUXMATE

#### **BUS DE COMMANDE**

Est intégré dans un système de commande basé sur le bus de terrain LUXMATE. Tous les modules de l'installation sont connectés à ce système. Les topologies de bus sont totalement flexibles afin de simplifier le câblage et le raccordement des modules. Tous les types de topologie sont admis (étoile, arborescence, ligne, etc.) sauf la topologie annulaire.

Le bus LUXMATE peut être segmenté par des séparateurs galvaniques. Chaque segment est alimenté par une source de courant qui permet le raccordement de jusqu'à 100 modules. Chaque secteur peut, au besoin, recevoir une deuxième source de courant fonctionnant en redondance et alimentant automatiquement le bus au cas où la première source tombe en panne.

La segmentation du bus LUXMATE est utilisée pour réaliser un câblage structuré au niveau fonctionnel tout au long de l'installation afin d'éviter que des problèmes de bus comme courts-circuits, rupture de la ligne de bus ou pannes de courant dans une partie de l'installation affectent le reste de l'installation.

La liberté de typologie de bus permet de réaliser de manière simple et économique des modifications ou des extensions de l'installation par la suite.

Le bus LUXMATE est insensible aux perturbations électromagnétiques et ses câbles de raccordement ne doivent pas être dotés de conducteurs blindés. Tous les modules LUXMATE connectés au bus sont équipé d'un pont redresseur à diodes qui permet de les connecter sans tenir compte de la polarité. En outre, tous les modules peuvent être connectés ou déconnectés « à chaud », autrement dit sans devoir interrompre l'alimentation électrique du segment de bus.

Pour la pose du bus, on utilise des câbles standard usuels H 05 VV-U 2 x 0,75 ou H 05 VV-U 2 x 1,5, fils tressés bipolaires.

Le bus LUXMATE travaille avec une vitesse de communication de 4 800 bauds et une fréquence de bits /un débit variable ainsi qu'avec un contrôle de redondance cyclique (CRC) qui répète automatiquement le message en cas d'erreur de transmission.

Les modules LUXMATE peuvent disposer de plusieurs canaux, tant aux entrées qu'aux sorties. Chaque canal reçoit une adresse inéquivoque qui l'identifie à l'intérieur de chaque bus. Les instructions de fonctionnement du système LUXMATE peuvent être dirigées à un seul canal, à tous les canaux d'un groupe, à tous les canaux d'une pièce ou à tous les canaux de l'installation.

Le processus d'adressage est simple et intuitif et s'effectue à l'aide d'une unité de commande LUXMATE raccordée au système. Une fois tous les modules du système adressés, cette unité de commande peut au besoin servir de commande pour l'installation. Pour l'adressage exact, il n'est pas nécessaire de recourir à des consoles de programmation complexes, des ordinateurs ou des logiciels spécifiques.

Le système LUXMATE permet de programmer et de modifier des ambiances dans toutes les pièces. Ces ambiances se composent des valeurs concrètes de chaque canal de sortie à l'intérieur de la pièce et sont enregistrées dans la mémoire EPROM de chaque module. Selon le type de module, il est possible d'enregistrer jusqu'à 20 ambiances qui peuvent ensuite être activées par une simple pression de touche sur le boîtier de commande ou l'entrée du système.

Pour le passage d'une ambiance à l'autre, le programme permet de définir des temps de fondu enchaîné pouvant être entièrement configurés par l'utilisateur. Lorsque ces temps sont activés et qu'un utilisateur décide de passer d'une ambiance à une autre dans la pièce, les sorties changent progressivement la valeur de l'ambiance d'origine jusqu'à atteindre la valeur de la nouvelle ambiance. La durée de ce processus est celle déterminée dans le système. La définition de ce temps peut différer pour chaque séquence cible ou être la même pour toutes les séquences définies dans la pièce.

### **COMMANDE DES LUMINAIRES**

Les luminaires à lampes fluorescentes de l'installation sont commandés par le système de communication DALI qui fournit la valeur adaptée à chaque luminaire. Ces signaux numériques régulent les luminaires sur une plage de minimum 1–3 % à 100 %.

L'utilisation de ces signaux numériques permet une régulation constante sans papillotements, même avec une faible luminosité et le B.E. peut signaler les lampes défectueuses au système.

Tous les modules LUXMATE avec sortie DALI vers la commande des luminaires sont équipés d'un contrôleur de sortie. De ce fait, ils sont capables d'envoyer des codes au système en cas de dysfonctionnements comme courts-circuits dans la ligne DALI, ouverture de la ligne, défaillances de lampe envoyés par les B.E. numériques pour lampes fluorescentes, etc.

Chaque luminaire connecté à la ligne DALI peut être réglé de manière totalement individuelle. Les câbles utilisés sont des câbles standard usuels H 05 VV-U 2 x 0,75 ou H 05 VV-U 2 x 1,5, fils tressés bipolaires.

#### **COMMANDE DE LA POSITION DES STORES ET DE L'INCLINAISON DES LAMELLES**

Les modules spécifiques à courant continu basse tension sont équipés de plusieurs sorties indépendantes, chacune étant attribuée à une adresse LUXMATE.

Chaque canal peut, avec une seule sortie, commander la position verticale des stores ainsi que l'inclinaison des lamelles. La régulation des stores se fait soit à partir du système soit à l'aide de boutons-poussoirs directement connectés au module.

#### **BOUTON-POUSSOIR RF**

Le système LUXMATE est équipé de capteurs LM-RFR pour la connexion sans fil à des touches EnOcean (technologie de poussoirs RFR sans batterie).

Ils apportent une sécurité de conception maximale et réduisent le temps de montage.

Les boutons permettent d'activer facilement des ambiances prédéfinies. L'interrupteur à bascule T+ (allumage progressif) et T- (extinction progressive) permet de commuter et de régler l'éclairage.

#### **ÉLÉMENTS DE COMMANDE**

Le système LUXMATE dispose d'un vaste choix d'éléments de commande pour le montage mural avec différentes fonctions, comme allumage/extinction, gradation ou activation d'ambiances prédéfinies.

#### **CAPTEUR DE LUMIÈRE EXTÉRIEURE**

Le système LUXMATE est équipé d'un capteur général pour l'installation entière, installé au point le plus haut du bâtiment. Ce capteur comprend huit cellules photoélectriques et un capteur infrarouge. Le capteur collecte en permanence les données lumineuses, tant de la lumière directe que diffuse, l'incidence verticale et horizontale de la lumière de tous les points cardinaux ainsi que l'état général du ciel à l'aide du capteur infrarouge.

Toutes les données saisies par le capteur sont envoyées via le bus LUXMATE au reste de l'installation où elle sont traitées et exploitées.

#### **CALCULATEUR DE LUMIÈRE DU JOUR**

Le traitement centralisé de l'installation LUXMATE s'effectue sur autant de calculateurs que nécessaires. Chaque calculateur peut commander trois bus de terrain entièrement indépendant les uns des autres avec un maximum de 500 sorties du système, soit 1 500 sorties au total.

La connexion entre le ordinateur et les bus de terrain s'effectue par les ports de communication RS 232 prévus à cet effet dans le ordinateur. Une interface de communication est connectée à chaque port afin de réaliser la connexion entre le ordinateur et les éléments de terrain.

Le ordinateur dispose d'un modem avec accès téléphonique permettant d'effectuer des travaux à distance sur l'installation.

Le ordinateur de lumière du jour assume les fonctions suivantes :

#### **Régulation en fonction de la lumière du jour**

Dans les zones où la lumière incidente est suffisante, la régulation se fait en fonction de la lumière du jour, ce qui se répercute positivement sur le confort des utilisateurs et assure de substantielles économies d'énergie.

Le ordinateur de lumière du jour règle les paramètres d'éclairage de toutes les sorties du système en fonction des variations de la lumière du jour signalées par le capteur installé sur le toit du bâtiment.

Le système de commande LUXMATE permet de créer une courbe de commande caractéristique pour chaque sortie réglable. Cette courbe est utilisée pour calculer à tout moment la valeur de sortie requise pour le maintien d'un niveau d'éclairage constant dans le bâtiment en dépit des variations normales de la lumière du jour à l'extérieur.

Pour chaque luminaire, il est possible de saisir différentes courbes de commande pour chacune des ambiances possibles du système LUXMATE, de sorte que lorsqu'une de ces ambiances est choisie dans une pièce, le système calcule automatiquement les valeurs de sortie avec la courbe de commande correspondant à cette ambiance.

Bien que les valeurs des luminaires soient automatiquement commandées par le système, l'utilisateur peut les modifier à tout moment. Le temps après lequel l'installation revient automatiquement aux valeurs de départ après une intervention manuelle dans le fonctionnement automatique, est défini.

Dans chacune des pièces où l'éclairage peut être réglé en fonction de la lumière du jour, un capteur interne de lumière du jour est installé. Il saisit la lumière du jour incidente en fonction des éléments faisant écran, comme les stores, persiennes, etc.

L'utilisation de ce capteur interne implique la définition d'un troisième point dans la courbe de commande afin de tenir compte de la distorsion liée à l'incidence de la lumière du jour.

#### **Automatisation des lamelles**

Le système de commande LUXMATE permet d'automatiser complètement toutes les sorties des lamelles de l'installation à l'aide du ordinateur de lumière du jour. Dans chaque pièce, il est possible de définir des tâches d'automatisation pour chaque sortie individuelle ou pour un groupe de sorties.

Pour chaque ensemble de stores, l'orientation par rapport au nord ainsi que les angles horizontaux et verticaux de la position du soleil lorsque la fenêtre reçoit les rayons directs du soleil sont définis, de même qu'une valeur de lumière extérieure à partir de laquelle la lamelle doit être actionnée.

Lorsque la position du soleil est telle que ses rayons tombent directement sur la fenêtre et que les données du capteur extérieur dépassent la valeur limite définie, les lamelles du système sont automatiquement positionnées perpendiculairement au rayonnement solaire et leur angle d'inclinaison est réglée en fonction de la trajectoire du soleil.

Le système tient compte de la géométrie du bâtiment ainsi que des autres bâtiments ou éléments susceptibles de jeter leur ombre sur les lamelles à commander.

Étant donné que la position du soleil est ressentie comme extrêmement gênante le matin, même lorsque la valeur limite d'intensité n'est pas dépassée, le système accepte un facteur de correction pour compenser cette situation lumineuse et baisser les stores.

Le système permet en outre de programmer des heures de fermeture prédéterminées après les heures de travail, pendant les jours fériés et les périodes de vacances. Il est possible de définir si l'utilisateur a la possibilité d'intervenir manuellement sur l'installation ou pas.

#### **Gestion temporelle**

La calculateur de lumière du jour permet de programmer des « événements » après les heures de travail, pendant les jours fériés ou les périodes de vacances. Ces événements agissent sur chaque partie voulue de l'installation, au niveau de plusieurs ou d'une seule pièce, sur des sorties de groupe ou des sorties individuelles. Il est même possible de choisir quel type de sortie l'événement doit activer.

#### **Gestion de la consommation**

Les données concernant le nombre de luminaires et le rendement de chacun des luminaires connectés à chaque sortie du système LUXMATE sont introduites dans le système. À l'aide de ces données, des historiques des heures de fonctionnement, de la puissance et de l'énergie consommée sont générées.

Cette application fournit des informations fiables au personnel d'entretien sur le vieillissement des éléments de l'installation ainsi que des données détaillées sur les valeurs de consommation à chaque point de l'installation.

#### **Gestion des utilisateurs**

La calculateur de lumière du jour assume les tâches d'administration et de commande des utilisateurs. Le nom, mot de passe, poste de travail des utilisateurs ainsi que les droits d'accès aux différents programmes de commande LUXMATE et les interventions possibles de chaque utilisateur sur l'installation doivent être définis.

#### **Communication avec des systèmes externes**

Le calculateur de lumière du jour assure la communication avec d'autres systèmes à l'aide du standard de communication BMS via le protocole TCP/IP ou un port série RS232.

Par le biais de cette communication, n'importe quel système externe peut agir sur le système de commande LUXMATE. Il peut allumer, éteindre et régler n'importe quel luminaire du système et consulter l'état des luminaires ou d'une partie de l'installation.

### **INTERFACE GRAPHIQUE**

Le système de commande LUXMATE dispose d'un logiciel de visualisation de l'installation afin de contrôler l'état de toutes ses sorties.

Le système d'affichage LUXMATE intègre un historique des défaillances survenues sur l'installation. Dans cet historique, selon les droits d'utilisateur accordés, il est possible de marquer les messages d'alarme déjà signalés aux collaborateurs d'entretien et de les imprimer.

Le système n'émet pas seulement un code général, mais spécifie s'il s'agit d'un problème de module d'ordre général, d'une erreur de communication, d'une erreur de l'élément commandé par le module, etc.

### **ZONES COMMANDÉES**

Ci-après, les zones commandées sont détaillées et leurs fonctions définies selon leur utilisation ainsi que les caractéristiques de puissance exigées.

Le système de commande dispose d'un terminal pour la surveillance graphique de l'installation qui affiche l'état des sorties du système en temps réel. Il peut en outre envoyer des instructions de fonctionnement aux sorties du système, afficher et imprimer les messages d'alarme concernant les défaillances de modules et de lampes.

### **Couloirs et zones communes**

La commande générale des allumages et extinctions s'effectue en fonction de l'horaire défini pour le bâtiment.

Dans les zones disposant de lumière du jour, les luminaires se trouvant sur une bande d'environ 5 m de largeur sont régulés en continu.

En-dehors des heures de fonctionnement normal du bâtiment, au moins un tiers des luminaires de la zone de sécurité et de surveillance reste allumé.

### **Réception**

Un panneau tactile encastré dans le mur commande l'ensemble de cette zone. Il affiche une vue d'ensemble des éléments à commander ainsi que leur distribution dans le bâtiment.

Dans les zones disposant de lumière du jour, les luminaires se trouvant sur une bande d'environ 5 m de largeur sont régulés en continu.

La commande générale des allumages et extinctions s'effectue en fonction de l'horaire défini pour le bâtiment.

**Toilettes et vestiaires**

Ici, des détecteurs de mouvement allument et éteignent l'éclairage.

Dans les cabines de toilette, l'allumage et l'extinction de l'éclairage s'effectue avec des commutateurs muraux traditionnels.

**Bureaux, espaces de travail et salles de réunion**

Ici, l'allumage, l'extinction et la gradation s'effectuent à l'aide de poussoirs RF encastrés dans le mur.

Dans les zones disposant de lumière du jour, les luminaires se trouvant sur une bande d'environ 5 m de largeur sont réglés en continu.

Les lamelles sont automatiquement commandées de manière à ce que, lorsque le rayonnement solaire tombe directement sur la fenêtre, leur inclinaison se règle sur la position momentanée du soleil. Ceci évite la lumière incidente directe mais permet l'incidence de lumière diffuse. Le système calcule la valeur de réglage des luminaires pour chaque position des stores, afin de maintenir la valeur d'éclairage attribuée au bâtiment.

La commande générale des allumages et extinctions s'effectue en fonction de l'horaire défini pour le bâtiment.

**Salle de presse**

Dans celle-ci, un boîtier de commande encastré dans le mur active, désactive et règle les sorties. La configuration du moment peut en outre être enregistrée pour cinq ambiances différentes et être activée par la suite.

La commande manuelle des lamelles et des écrans s'effectue selon l'ambiance choisie soit sur le boîtier mural soit sur le panneau tactile.

La commande de cette zone s'opère avec les éléments de commande prévus pour la commande des installations audiovisuelles. C'est pourquoi le système doit disposer d'un élément de connexion à des systèmes externes.





## Installation de climatisation

Le système de climatisation utilise l'eau comme fluide caloporteur et dispose de quatre conduites, car en raison de la géométrie et de l'emplacement de l'immeuble, les diverses zones du bâtiment ont des orientations différentes et les exigences doivent être remplies en cas d'inversion thermique spontanée et simultanée.

La production d'eau froide s'effectue à l'aide d'un condensateur refroidi à l'air situé sur le toit, la production d'eau chaude à l'aide d'une chaudière à gaz. À l'aide de pompes, l'eau est transportée par un réseau de conduites isolées jusqu'aux terminaux.

Les terminaux sont des ventilo-convecteurs (fan coils) à quatre voies avec groupe froid et groupe chaud.

L'apport d'air extérieur s'effectue à l'aide de conditionneurs d'air qui filtrent et traitent l'air pour les introduire dans les ventilo-convecteurs à une température proche de la température intérieure de confort.

Toutes les zones disposent d'un système de renouvellement d'air répondant aux prescriptions en vigueur pour les installations thermiques de bâtiments. Les conditionneurs d'air et les échangeurs rotatifs de chaleur enthalpique se chargent de transférer vers l'entrée d'air extérieur l'énergie gagnée par le traitement de l'air.

## 5 Données d'entrée

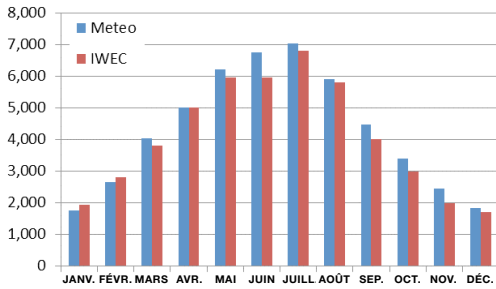


Figure 1 : Rayonnement solaire horizontal global (Wh/m²)

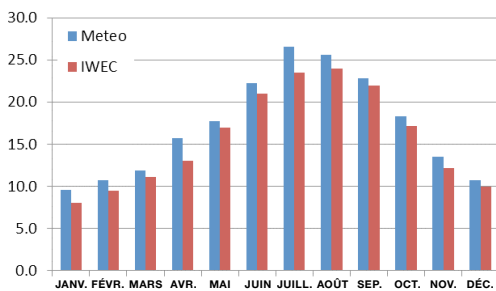


Figure 2 : Température mensuelle moyenne (Wh/m²)

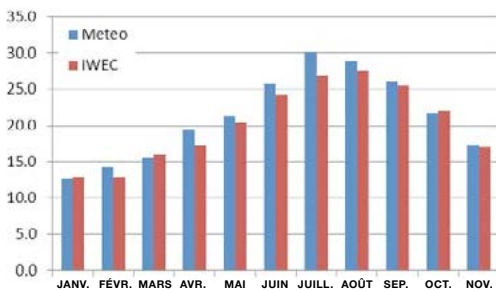


Figure 3 : Température mensuelle maximale (Wh/m²)

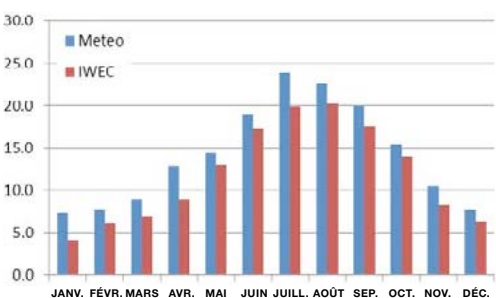


Figure 4 : Température mensuelle minimale (Wh/m²)

### 5.1 Données climatiques

L'immeuble se trouve à Barcelone, Espagne (longitude 41,28°, latitude 2,07, altitude 6,0).

Pour les simulations, on a utilisé un fichier de données climatiques de cette ville, dont la source est « International Weather for Energy Calculations » (IWEC) d'ASHRAE. Le fichier contient des informations horaires d'une année entière sur des paramètres tels que température sèche, température de rosée, humidité relative de l'air, rayonnement solaire (horizontal global, direct normal et diffus horizontal) et vent (direction et vitesse).

En annexe 1 figurent des représentations graphiques des données annuelles horaires des principaux paramètres contenus dans le fichier.

Pour vérifier la fiabilité du fichier, ses données climatiques ont été comparées avec les valeurs moyennes de rayonnement solaire et de température relevées sur une station météorologique proche de l'immeuble.

Les graphiques ci-après permettent de comparer les valeurs moyennes (source : METEOCAT) avec les valeurs climatiques du fichier (IWEC). On constate que les données relevées coïncident avec les données du fichier, particulièrement celles concernant le rayonnement solaire.

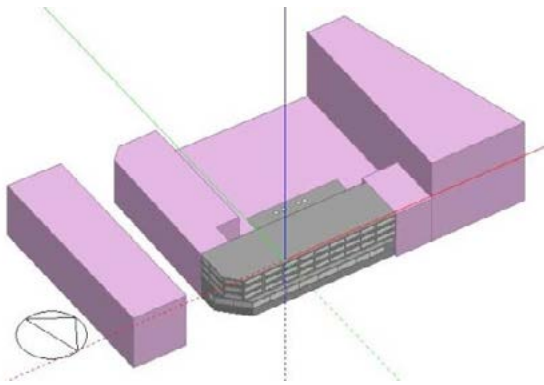


Figure 5 : Modèle 3D, bâtiment entier

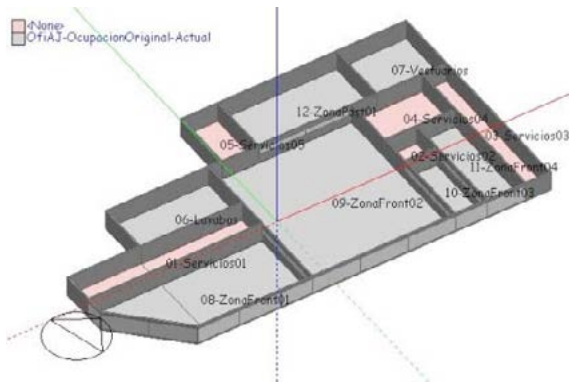


Figure 6 : Modèle 3D, rez-de-chaussée

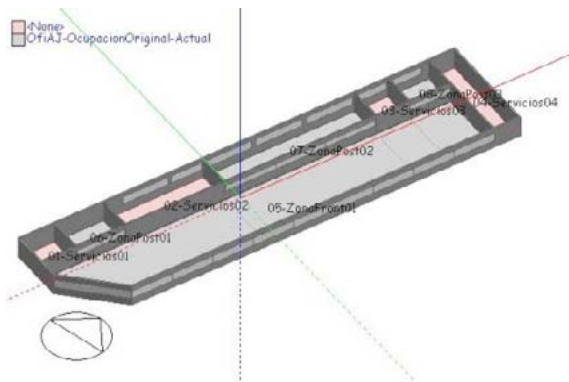


Figure 7 : Modèle 3D, entresol

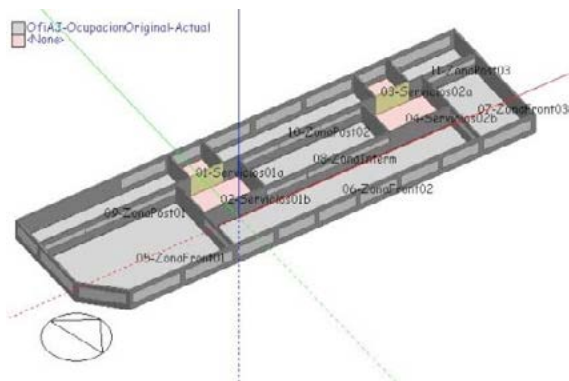


Figure 8 : Modèle 3D, étages 1 à 4

## 5.2 Configuration géométrique et répartition en zones

Le bâtiment comprend 8 étages : deux étages sous-terrains essentiellement utilisés comme parkings, un rez-de-chaussée, un entresol et quatre étages supérieurs. Les sous-sols et le rez-de-chaussée occupent l'ensemble du terrain. L'entresol et les étages supérieurs forment un volume s'étendant en longueur dont l'axe longitudinal s'étire du nord au sud (c'est pourquoi les façades plus larges sont orientées vers l'est et l'ouest).

Dans le développement des modèles de simulation, on a essayé de tenir un maximum compte de la configuration géométrique du bâtiment réel. On a cependant dû procéder à quelques adaptations, afin d'optimiser les processus d'analyse. Ces adaptations sont entre autres les suivantes :

- Le deuxième et le troisième étage ont été modélisés comme un seul étage standard, mais en utilisant un facteur de multiplication de zones équivalent à deux, on obtient des résultats pour les deux étages.
- La répartition en zones intérieures a été simplifiée en essayant de différencier entre zones de travail et zones de service ainsi qu'entre les différentes conditions thermiques liées à la position respective de ces zones.
- La configuration du modèle a été développée de manière à ce que toutes les zones soient convexes, condition nécessaire pour pouvoir utiliser l'option de distribution interne et externe complète du rayonnement solaire de DesignBuilder. Cette option permet une représentation détaillée de la distribution du rayonnement solaire pénétrant dans les pièces, un aspect important compte tenu des objectifs de la présente étude.

De plus, des blocs supplémentaires représentant les bâtiments voisins ont été intégrés dans le modèle, afin de tenir compte des ombres portées par ceux-ci sur le bâtiment analysé.

Les figures 5 à 8 représentent les modèles 3D utilisés dans les simulations, comprenant le bâtiment entier, le rez-de-chaussée, l'entresol et les étages 1 à 4.

## 5.3 Enceintes opaques

Le tableau ci-après montre une vue d'ensemble des enceintes opaques affectées au modèle du bâtiment d'origine et à celui du bâtiment actuel, y compris les coefficients de conductivité thermique et la capacité thermique. L'annexe 2 détaille les propriétés des différentes enceintes opaques.

	<b>Bâtiment d'origine</b>	<b>Bâtiment actuel</b>
Façades sud et est	Mur 01 U (W/m <sup>2</sup> -K) = 0,675 k-m (KJ/m <sup>2</sup> -K) = 57,4	Mur 04 U (W/m <sup>2</sup> -K) = 0,272 k-m (KJ/m <sup>2</sup> -K) = 14,2
Façade sud-est (façade en biais)	Mur 01 U (W/m <sup>2</sup> -K) = 0,675 k-m (KJ/m <sup>2</sup> -K) = 57,4	Mur 05 U (W/m <sup>2</sup> -K) = 0,201 k-m (KJ/m <sup>2</sup> -K) = 57,4
Façade ouest	Mur 02 U (W/m <sup>2</sup> -K) = 0,682 k-m (KJ/m <sup>2</sup> -K) = 57,4	Mur 02 U (W/m <sup>2</sup> -K) = 0,682 k-m (KJ/m <sup>2</sup> -K) = 57,4
Façade nord (mur intermédiaire)	Mur 03 U (W/m <sup>2</sup> -K) = 1,167 k-m (KJ/m <sup>2</sup> -K) = 56,5	Mur 03 U (W/m <sup>2</sup> -K) = 1,167 k-m (KJ/m <sup>2</sup> -K) = 56,5
Subdivisions (murs intérieurs)	Subdivision 01 U (W/m <sup>2</sup> -K) = 1,730 k-m (KJ/m <sup>2</sup> -K) = 104,6	Subdivision 01 U (W/m <sup>2</sup> -K) = 1,730 k-m (KJ/m <sup>2</sup> -K) = 104,6
Toiture supérieure (quatrième étage)	Toiture 01 U (W/m <sup>2</sup> -K) = 0,547 k-m (KJ/m <sup>2</sup> -K) = 158,0	Toiture 02 U (W/m <sup>2</sup> -K) = 0,530 k-m (KJ/m <sup>2</sup> -K) = 158,0
Toiture inférieure (rez-de-chaussée)	Toiture 03 U (W/m <sup>2</sup> -K) = 0,545 k-m (KJ/m <sup>2</sup> -K) = 158,0	Toiture 03 U (W/m <sup>2</sup> -K) = 0,545 k-m (KJ/m <sup>2</sup> -K) = 158,0
Soils intérieurs	k-m (KJ/m <sup>2</sup> -K) = 180,4	k-m (KJ/m <sup>2</sup> -K) = 0,0

U = Facteur de transmission thermique total  
k-m = capacité thermique intérieure

**Figure 9** : Tableau des enceintes opaques prises en considération

## 5.4 Vitrages

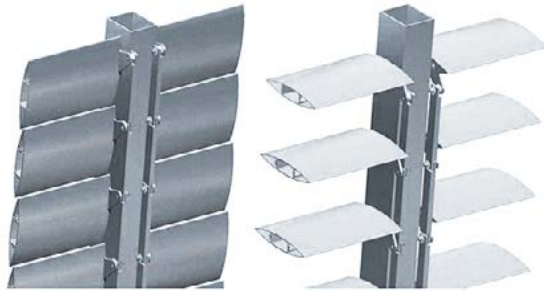
Les tableaux suivantes indiquent les propriétés détaillées et générales des vitrages avant et après la rénovation :

Couche, verre/gaz	Épaisseur (m)	Conductivité (W/m-K)	Source
1 (Extérieur) verre clair	0,006	0,900	Banque de données EnergyPlus
2 Chambre d'air	0,006		BS EN 673 / EnergyPlus
3 (Intérieur) verre clair	0,006	0,900	Banque de données EnergyPlus
3,094 W/m <sup>2</sup> -K - coefficient de conductivité totale (U)			
0,700 transmission totale lumière solaire (SGHC)			
0,604 transmission de la lumière solaire directe			
0,781 transmission de la lumière			

**Figure 10** : Tableau des propriétés du vitrage du bâtiment d'origine

Couche, verre/gaz	Épaisseur (m)	Conductivité (W/m-K)	Source
1 (Extérieur) verre réfléchissant générique	0,006	0,900	Banque de données EnergyPlus
2 Chambre d'air	0,013		BS EN 673 / EnergyPlus
3 (Intérieur) verre clair générique	0,010	0,900	Banque de données EnergyPlus
2,639 W/m <sup>2</sup> -K - coefficient de conductivité totale (U)			
0,691 transmission totale lumière du soleil (SGHC)			
0,577 transmission de la lumière solaire directe			
0,763 transmission de la lumière			

**Figure 11** : Tableau des propriétés du vitrage du bâtiment actuel



**Figure 12 :** Représentations à des fins de marketing du système de lamelles mobiles dans les positions ouverte et fermée.

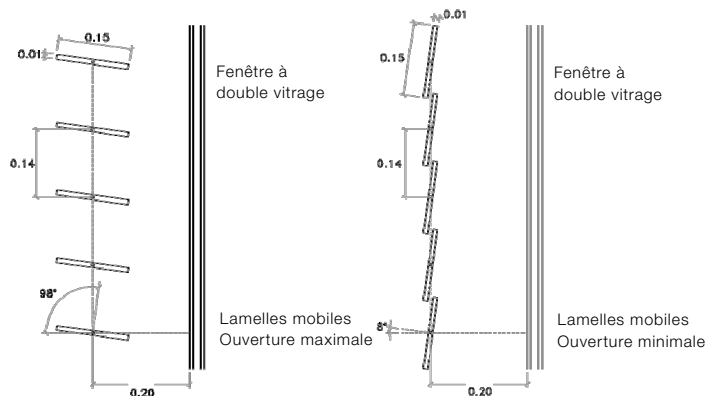
## 5.5 Dispositifs d'ombrage

Pour les modèles de simulation, deux types de dispositifs d'ombrage ont été utilisés. Le premier est un système de lamelles mobiles automatique placé à l'extérieur du vitrage. La position des lamelles varie automatiquement d'un angle d'ouverture minimal à un angle d'ouverture maximal afin d'empêcher le rayonnement solaire direct sur le vitrage. Pour la conception de la commande, on a utilisé l'objet WindowProperty : ShadingControl > BlockBeamSolar d'EnergyPlus.

La figure 12 montre des illustrations à des fins de marketing du système de lamelles mobiles. La figure 13 représente les paramètres géométriques utilisés dans les modèles de simulation. Signalons toutefois que DesignBuilder-EnergyPlus ne permet que la configuration de lamelles plates. Il est supposé que les lamelles ont une conductivité de 0,1 W/m-K et que par conséquent la face avant et la face arrière présentent une réflexion solaire et une réflexion lumineuse visible de 0,6 et une émissivité de 0,4.

Le système de lamelles mobiles a été utilisé dans les modèles des scénarios de simulation 03 et 05. Toutefois, conformément aux caractéristiques de l'immeuble actuel, il n'a été affecté qu'aux fenêtres du premier au quatrième étage des façades est, sud-est (façade en biais) et de la façade sud. Dans cette dernière, seules les fenêtres directement situées près de la façade sud-est ont été prises en compte.

Le deuxième dispositif d'ombrage comprend un écran vitré translucide intérieur avec une valeur de transmission et une réflexion solaire de 0,2. Comme critère de commande, on part du fait que le dispositif est actif lorsque la lumière solaire incidente sur la fenêtre s'élève à 75 W/m<sup>2</sup> ou plus (avec un rayonnement solaire incident de moins de 75 W/m<sup>2</sup>, l'écran vitré est relevé). Les écrans vitrés intérieurs ont été affectés aux fenêtres qui ne sont pas équipées de lamelles mobiles dans les scénarios 03 et 05 ainsi qu'à toutes les fenêtres des modèles des scénarios 01, 02 et 04.



**Figure 13:** Paramètres géométriques du système de lamelles mobiles dans les modèles de simulation

## 5.6 Gains internes par les personnes

La figure 14 montre les données d'entrée relatives à l'occupation du bâtiment, la figure 16 les valeurs de programmation liées à cette occupation. Ces paramètres sont utilisés pour calculer les gains de chaleur internes apportés par les personnes selon la formule suivante :

*Gains par les personnes (W) = superficie du sol (SS) x densité d'occupation (DO) x taux métabolique (TM) x facteur métabolique (FM) x valeur de programmation.*

Les valeurs de densité ont été fixées et normalisées sur la base des informations disponibles sur l'utilisation du bâtiment. Le taux métabolique dépend du type d'activité (plus elle est intense, plus le taux est élevé), alors que le facteur métabolique permet d'évaluer la constitution physique des personnes se trouvant dans le bâtiment. Homme = 1,00, femme = 0,85, enfant = 0,75.

Type de pièce	Densité (pers/m <sup>2</sup> )	TM (W/pers)	FFM	Gain (W/m <sup>2</sup> )	Programmation
Zones de travail	0,150	120	0,90	16,2	Occupation
Zones de service	0,030	120	0,90	3,2	Occupation

**Figure 14 :** Tableau des données d'entrée relatives à l'occupation

Comme il ressort de la formule, la programmation de l'occupation permet de définir les périodes durant lesquelles les pièces sont occupées (lorsque la valeur est différente de 0), ainsi que la modification temporelle des gains de chaleur qui y sont liés en prenant en compte un certain modèle d'occupation. C'est ainsi que par exemple aux périodes pendant lesquelles la valeur de programmation est 0,80, le taux de gains de chaleur par les personnes se réduit à 80 %.

Lu à jeu	Vendr.	Sa et dim.
00:00 - 08:00 = 0,05	00:00 - 08:00 = 0,00	00:00 - 24:00 = 0,00
08:00 - 09:00 = 0,80	08:00 - 09:00 = 0,80	
09:00 - 13:00 = 1,00	09:00 - 13:00 = 1,00	
13:00 - 14:00 = 0,80	13:00 - 14:00 = 0,80	
14:00 - 16:00 = 1,00	14:00 - 16:00 = 1,00	
16:00 - 20:00 = 0,20	16:00 - 24:00 = 0,00	
20:00 - 24:00 = 0,05		

**Figure 15 :** Programmation de l'occupation : du 1<sup>er</sup> janvier au 31 décembre

## 5.7 Gains internes par les appareils et installations

La figure 16 montre les données d'entrée relatives à l'utilisation d'appareils et d'installations, tandis que la figure 17 indique les valeurs de programmation liées à cette utilisation. À l'aide de ces données, on calcule les indices de consommation d'énergie ainsi que les gains de chaleur correspondants.

*Valeurs de consommation/gains par les appareils (W) = superficie du sol x taux de gains x valeurs de programmation*

Type de pièce	Gain (W/m <sup>2</sup> )	Concept	VA.	LA.	RA.	FA.	Programmation
Zones de travail	12,0	Appareils (électr.)	0,00	0,00	0,20	0,80	Installations
Zones de service	3,0	Appareils (électr.)	0,00	0,00	0,20	0,80	Installations

VA = pourcentage de pertes (chaleur transmise à l'extérieur)  
 LA. = pourcentage latent ; RA. = pourcentage radiatif ; FA. = pourcentage sensible

**Figure 16 :** Tableau des données d'entrée relatives aux appareils et installations

Remarque : si, comme dans ce cas, le pourcentage de pertes est égal à zéro, on suppose que l'énergie consommée correspond à la chaleur gagnée dans la pièce. La chaleur gagnée est répartie en parts latentes, radiatives et convectives en conformité avec les valeurs correspondantes.

Comme il ressort de la formule, la programmation des installations permet de définir les heures de fonctionnement des appareils et installations (lorsque la valeur est différente de 0), ainsi que la modification temporelle des gains de chaleur qui y sont liés en tenant compte d'un certain modèle d'utilisation du bâtiment. C'est ainsi que par exemple aux périodes pendant lesquelles la valeur de programmation est de 0,80, le taux de consommation d'énergie/de gains de chaleur par les appareils et installations se réduit à 80 %.

Lu à jeu	Vendr.	Sa et dim.
00:00 - 08:00 = 0.05	00:00 - 08:00 = 0.05	00:00 - 24:00 = 0.05
08:00 - 09:00 = 0.80	08:00 - 09:00 = 0.80	
09:00 - 13:00 = 1.00	09:00 - 13:00 = 1.00	
13:00 - 14:00 = 0.80	13:00 - 14:00 = 0.80	
14:00 - 16:00 = 1.00	14:00 - 16:00 = 1.00	
16:00 - 20:00 = 0.20	16:00 - 24:00 = 0.05	
20:00 - 24:00 = 0.05		

**Figure 17 :** Programmation d'appareils et d'installations : du 1<sup>er</sup> janvier au 31 décembre



## 5.8 Gains internes par l'éclairage

La figure 18 montre les données d'entrée relatives à l'utilisation de l'éclairage artificiel, tandis que la figure 19 indique les valeurs de programmation liées à cette utilisation. À l'aide de ces données, on calcule les indices de consommation d'énergie ainsi que les gains de chaleur correspondants.

*Valeurs de consommation/gains apportés par l'éclairage (W) = superficie du sol x (éclairage minimal / 100) x énergie d'éclairage (W/m<sup>2</sup>-100 lux) x valeur de programmation.*

Type de pièce	Écl. min. (lux)	Énergie d'écl. (W/m <sup>2</sup> -100 lux)	Gain (W/m <sup>2</sup> )	RS	Rad A.	SA.	KA.	Programmation
Zones de travail	500	4,20	21,00	0,00	0,37	0,18	0,45	Éclairage
Zones de service	200	4,20	8,40	0,00	0,37	0,18	0,45	Éclairage

**Figure 18 :** Tableau des données de l'éclairage artificiel

Lu à jeu	Vendr.	Sa et dim.
00:00 - 08:00 = 0,05	00:00 - 08:00 = 0,05	00:00 - 24:00 = 0,05
08:00 - 09:00 = 0,80	08:00 - 09:00 = 0,80	
09:00 - 13:00 = 1,00	09:00 - 13:00 = 1,00	
13:00 - 14:00 = 0,80	13:00 - 14:00 = 0,80	
14:00 - 16:00 = 1,00	14:00 - 16:00 = 1,00	
16:00 - 20:00 = 0,20	16:00 - 24:00 = 0,05	
20:00 - 24:00 = 0,05		

**Figure 19 :** Programmation de l'éclairage : du 1<sup>er</sup> janvier au 31 décembre

Signalons toutefois qu'en complément à ces paramètres, un capteur de lumière a été placé dans chaque zone de travail des scénarios 03 et 05, permettant d'augmenter ou de diminuer l'éclairement en fonction de la lumière du jour disponible. Il a été tenu compte du fait qu'il est possible de réduire jusqu'à 3 % la puissance totale des luminaires et que ceux-ci s'éteignent complètement lorsque cette valeur est atteinte.

Étant donné que dans le scénario 05, le système de commande fonctionne en même temps que le système de lamelles mobiles, le système de commande de l'éclairage doit représenter de manière aussi réaliste que possible le système de protection solaire du bâtiment réel, compte tenu des limites des programmes de simulation utilisés.

## 5.9 Système CVC

Les systèmes de climatisation ont été conçus avec l'option Design-Builder HVAC Compact, ce qui permet d'intégrer à l'aide d'objets Template d'EnergyPlus des systèmes génériques dont les éléments spéciaux sont dimensionnés automatiquement.

Dans ce cas, on a défini un système de ventilo-convection à quatre voies avec un circuit d'eau chaude d'une puissance nominale de 0,89 alimenté par une chaudière à gaz ainsi qu'un circuit d'eau froide alimenté par un refroidisseur avec un coefficient de performance (COP) de référence de 3,67. Pendant la période d'occupation du bâtiment et toute l'année, les deux circuits sont considérés comme disponibles en même temps, conformément à la programmation figurant en figure 20. Dans le mode de refroidissement, la température de consigne est de 25 °C, et en mode de chauffage, la température de consigne est de 21 °C.

Lu à jeu	Vendr.	Sa et dim.
00:00 - 08:00 = 0,00	00:00 - 08:00 = 0,00	00:00 - 24:00 = 0,00
08:00 - 20:00 = 1,00	08:00 - 16:00 = 1,00	
20:00 - 24:00 = 0,00	16:00 - 24:00 = 0,00	

**Figure 20** : Programmation du chauffage et du refroidissement : du 1<sup>er</sup> janvier au 31 décembre

L'aération mécanique connectée au système de climatisation a été conçue pour l'utilisation de l'air de retour, garantissant ainsi toujours un pourcentage minimal d'air frais, qui dans ce cas est de 12,5 l/s par personne. Le système d'aération mécanique a été affecté à la programmation indiquée en figure 21, de sorte que le pourcentage d'air frais affluant varie en fonction du degré d'occupation (la valeur 1 correspond au pourcentage maximal d'air frais, tandis que les fractions représentent les valeurs d'aération partielle).

Lu à jeu	Vendr.	Sa et dim.
00:00 - 08:00 = 0,00	00:00 - 08:00 = 0,00	00:00 - 24:00 = 0,00
08:00 - 09:00 = 0,80	08:00 - 09:00 = 0,80	
09:00 - 13:00 = 1,00	09:00 - 13:00 = 1,00	
13:00 - 14:00 = 0,80	13:00 - 14:00 = 0,80	
14:00 - 16:00 = 1,00	14:00 - 16:00 = 1,00	
16:00 - 20:00 = 0,20	16:00 - 24:00 = 0,00	
20:00 - 24:00 = 0,00		

**Figure 21** : Programmation de l'aération mécanique : du 1<sup>er</sup> janvier au 31 décembre

Ce chapitre fait le résumé des résultats obtenus à travers les simulations. Pour chacun des scénarios proposés, une simulation annuelle a été réalisée en tenant compte des données d'entrée indiquées au chapitre précédent.

## 6.1 Consommation énergétique générale

Montrons d'abord un tableau comparatif de la consommation énergétique en Wh/m<sup>2</sup> (figure 22). Celui-ci inclut la consommation de l'éclairage du chauffage (chaudière), de l'aération mécanique, des pompes du système de climatisation et du refroidissement (refroidisseur). Le tableau indique de surcroît le pourcentage d'amélioration des scénarios 02 à 05 par rapport au scénario 01, du fait de la réduction de la consommation énergétique générale. La figure 23 montre les valeurs de ce tableau sous forme graphique.

	Écl.	Chauff.	Aérat.	Pompes	Refroid.	Total	Amélior.
01. État d'origine, sans lamelles, sans commande	46,7	12,2	7,9	8,1	36,3	111,2	Réf.
02. État actuel, sans lamelles, sans commande	46,7	9,2	8,0	8,9	40,3	113,1	-1,7 %
03. État actuel, avec lamelles, sans commande	46,7	10,9	6,3	7,4	33,3	104,6	6,0 %
04. État actuel, sans lamelles, avec commande	27,4	12,5	6,5	7,5	32,6	86,5	22,2 %
05. État actuel, avec lamelles, avec commande	27,7	15,3	5,2	6,5	27,6	82,3	26,0 %

Figure 22 : Tableau comparatif de la consommation énergétique de la climatisation et de l'éclairage du bâtiment (kWh/m<sup>2</sup>)

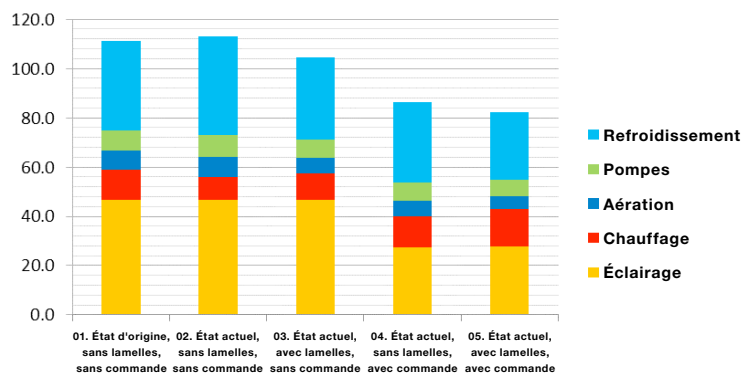


Figure 23 : Tableau comparatif de la consommation énergétique de la climatisation et de l'éclairage du bâtiment (kWh/m<sup>2</sup>)

On peut constater que la consommation énergétique globale du scénario 02 (bâtiment actuel, sans lamelles et sans commande) est de 1,7 % supérieure à celle du scénario 01 (bâtiment d'origine avant la rénovation). Ceci est dû au fait que les murs de la façade principale ont été remplacés par des murs mieux isolés (coefficient de transfert plus faible) bien que la masse thermique efficace soit plus faible.

Vu que le bâtiment se trouve à Barcelone et vu son utilisation et ses charges internes (occupation, éclairage et installations), la consommation liée au refroidissement est nettement supérieure à celle du chauffage. Du fait que les anciens murs de la façade principale ont une masse thermique efficace plus élevée que les nouveaux murs, la consommation générale du bâtiment rénové est un peu plus élevée que celle de l'ancien bâtiment. On peut constater que la consommation en termes de chauffage du bâtiment rénové est inférieure à celle de l'ancien bâtiment, étant donné que les murs de la façade principale affichent un coefficient de transfert plus faible (meilleure isolation). Néanmoins la consommation du système de refroidissement est plus élevée dans le bâtiment rénové que dans l'ancien bâtiment, étant donné que les murs d'origine avaient une masse thermique efficace supérieure. Étant donné que la simulation énergétique du bâtiment est dynamique, la valeur de la masse thermique efficace se répercute en grande mesure sur les résultats obtenus.

Si nous prenons le scénario 02 comme référence (bâtiment actuel, sans lamelles, sans commande), les améliorations obtenues avec les lamelles et la commande de l'éclairage deviennent manifestes. Les améliorations dues exclusivement aux systèmes deviennent ainsi évidentes.

	Écl.	Chauff.	Aérat.	Pompes	Refroid.	Total	Consommation totale	
01. État d'origine, sans lamelles, sans commande	46,7	12,2	7,9	8,1	36,3	111,2	1,9	1,68 %
02. État actuel, sans lamelles, sans commande	46,7	9,2	8,0	8,9	40,3	113,1	Réf.	Réf.
03. État actuel, avec lamelles, sans commande	46,7	10,9	6,3	7,4	33,3	104,6	8,5	7,52 %
04. État actuel, sans lamelles, avec commande	27,4	12,5	6,5	7,5	32,6	86,5	26,6	23,52 %
05. État actuel, avec lamelles, avec commande	27,7	15,3	5,2	6,5	27,6	82,3	30,8	27,23 %

Figure 24 : Tableau comparatif des valeurs de consommation énergétique (kWh/m²)

## 6.2 Bilans thermiques de l'immeuble

Pour mieux évaluer ce fait, un bilan thermique de l'immeuble a été réalisé. Celui prend en compte les gains dus aux enceintes (qui comprennent les pertes et gains venant des murs, des sols et des toitures), aux sources internes (personnes, appareils), à l'infiltration, aux vitrages (englobant les gains dus à la lumière solaire et à la conduction à travers les fenêtres), à l'éclairage, au chauffage et au refroidissement, en s'appuyant sur les considérations suivantes :

1. Les valeurs représentent le total des gains et pertes thermiques de toute l'année. Certaines valeurs impliquent uniquement des gains, comme c'est le cas pour l'éclairage, d'autres uniquement des pertes, comme c'est le cas pour le refroidissement par exemple. Dans le cas des enceintes, on enregistre tant des pertes que des gains. Cela signifie que, même si le résultat d'une année entière se solde par des pertes dues aux enceintes, il existe pourtant des périodes dans lesquelles celles-ci affichent des gains.

2. Les gains apportés par le refroidissement et le chauffage représentent l'énergie prélevée par le système de climatisation et apportée à la pièce pour maintenir les conditions de confort. Les principales différences entre les valeurs de consommation énergétiques sont dues au fait que dans ce cas, ni l'efficacité des installations, ni les charges liées au traitement de l'air extérieur pour l'aération n'ont été prises en considération.

3. Dans un bilan thermique parfait, les valeurs totales devraient tendre vers zéro dans la colonne de droite. Comme il s'agit toutefois de calculs dynamiques qui intègrent des aspects tels que la résistance thermique, nous avons dans ce cas toujours des valeurs résiduelles.

	Murs	Gains Int.	Infiltr.	Comp.	Écl.	Chauff.	Refroid.	Total
01. État d'origine, sans lamelles, sans commande	-38,5	52,1	-9,4	25,5	46,7	1,9	-75,4	3,0
02. État actuel, sans lamelles, sans commande	-31,3	52,2	-9,5	25,0	46,7	1,3	-81,5	2,9
03. État actuel, avec lamelles, sans commande	-29,5	52,2	-9,2	12,4	46,7	1,5	-71,6	2,6
04. État actuel, sans lamelles, avec commande	-28,0	52,4	-9,2	26,0	27,4	1,9	-68,0	2,3
05. État actuel, avec lamelles, avec commande	-27,0	52,3	-8,9	13,1	27,7	2,2	-57,5	1,9

Figure 25 : Tableau comparatif des bilans thermiques généraux du bâtiment (kWh/m<sup>2</sup>)

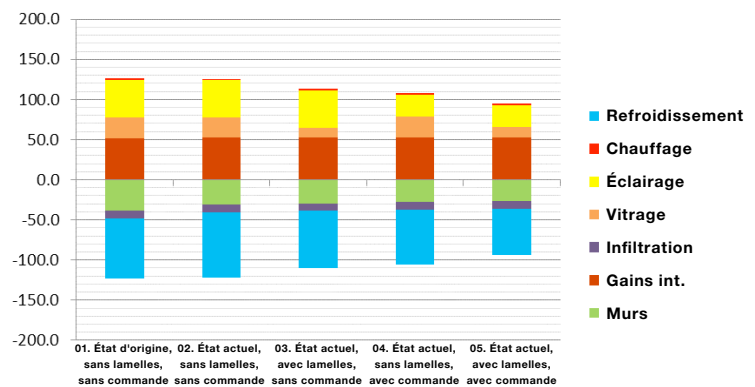


Figure 26 : Graphique comparatif des bilans thermiques généraux du bâtiment (kWh/m<sup>2</sup>)

Dans les figures 27 et 28, les données concernant les gains et pertes thermiques provenant du refroidissement, du chauffage et de l'éclairage ont été représentées séparément. Cela nous permet d'établir un rapport plus net entre les bilans thermiques et les valeurs de consommation énergétiques qui y sont liées, notamment en rapport avec les pourcentages d'amélioration.

Remarque : pour le calcul des valeurs totales du tableau de la figure 27, les valeurs négatives du refroidissement (pertes thermiques) ont été inversées.

	Refroid.	Chauff.	Écl.	Total	Consom. totale
01. État d'origine, sans lamelles, sans commande	-75,4	1,9	8,1	124,1	4,17 %
02. État actuel, sans lamelles, sans commande	-81,5	1,3	46,7	129,5	Réf.
03. État actuel, avec lamelles, sans commande	-71,6	1,5	46,7	119,8	7,49 %
04. État actuel, sans lamelles, avec commande	-68,0	1,9	27,4	97,3	24,86 %
05. État d'origine, avec lamelles, avec commande	-57,5	2,2	27,7	87,4	32,51 %

Figure 27 : Tableau comparatif des bilans thermiques partiels du bâtiment (kWh/m<sup>2</sup>)

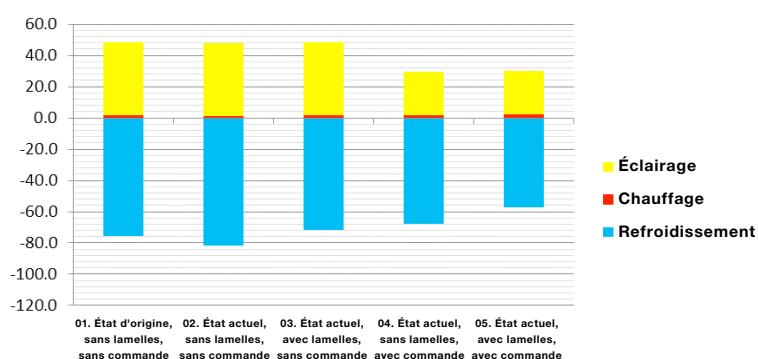


Figure 28 : Graphique comparatif des bilans thermiques partiels du bâtiment (kWh/m<sup>2</sup>)

### Analyse des résultats du scénario 02

On peut constater que la consommation due au refroidissement dans le scénario 02 (bâtiment rénové, sans lamelles et sans commande de l'éclairage) est plus élevée que dans le scénario 01 (bâtiment avant la rénovation), elle monte de 75,4 à 81,5 kWh/m<sup>2</sup>. La consommation due au chauffage baisse toutefois de 1,9 à 1,3 kWh/m<sup>2</sup>.

### Analyse des résultats du scénario 03

Les résultats du scénario 03 (bâtiment rénové avec lamelles et sans commande de l'éclairage) permettent de constater que la consommation due au refroidissement est sensiblement inférieure à celle du scénario 02 et qu'elle baisse de 81,5 à 71,6 kWh/m<sup>2</sup> suite à l'utilisation de lamelles pare-soleil mobiles. La consommation du chauffage augmente toutefois légèrement et passe de 1,3 à 1,5 kWh/m<sup>2</sup>. Ceci s'explique par le fait que les lamelles mobiles permettent au rayonnement solaire diffus d'entrer, mais empêchent l'incidence de rayons solaires directs (protection anti-éblouissement) et que de ce fait, les gains thermiques gratuits sont moindres en hiver, ce qui fait que la consommation du chauffage est nettement supérieure à celle du scénario 02. On observe par ailleurs que la consommation de l'éclairage reste constante dans les scénarios 01, 02 et 03 parce que le système d'éclairage simulé n'est pas doté d'une commande. De ce fait, les luminaires restent allumés durant toute la période d'occupation et d'utilisation du bâtiment, indépendamment de l'incidence de la lumière du jour dans le bâtiment.

L'amélioration de la consommation énergétique du bâtiment est de 3,5 % par rapport au bâtiment d'origine et de 7,5 % en comparaison avec le bâtiment rénové sans lamelles et avec système de commande de l'éclairage.

#### **Analyse des résultats du scénario 04**

En ce qui concerne les résultats obtenus avec les scénario 04 (bâtiment rénové, sans lamelles, mais avec commande de l'éclairage), on peut observer qu'en comparaison avec les résultats du scénario 02 l'amélioration de la consommation énergétique générale est considérable. Celle-ci est avant tout due à la réduction de la consommation de l'éclairage qui est passée de 46,7 à 27,4 kWh/m<sup>2</sup>. La consommation du système de refroidissement a également diminué, passant de 81,5 kWh/m<sup>2</sup> à 68 kWh/m<sup>2</sup>, ce qui permet de conclure que la réduction de la consommation de l'éclairage a essentiellement un effet positif sur la consommation du système de refroidissement. La réduction de la consommation de l'éclairage a toutefois un effet négatif sur la consommation du chauffage du bâtiment, qui est montée de 1,3 à 1,9 kWh/m<sup>2</sup>, bien que, du fait de la différence entre la consommation énergétique du refroidissement/de l'éclairage et celle du chauffage, ce résultat négatif n'ait pas d'impact sensible sur le calcul de la consommation d'énergie générale du bâtiment.

L'amélioration de la consommation du bâtiment est de 21,6 % en comparaison avec le bâtiment d'origine et de 24,8 % en comparaison avec le bâtiment rénové sans lamelles ni système de commande de l'éclairage.

#### **Analyse des résultats du scénario 05**

De la comparaison entre la simulation du scénario 05 (bâtiment rénové, avec lamelles et avec commande de l'éclairage), comportant toutes les mesures mises en œuvre dans le cadre de la rénovation du bâtiment, et le scénario 04 (bâtiment rénové sans lamelles, avec commande de l'éclairage), il ressort que la consommation du système de refroidissement tombe de 68 à 57,5 kWh/m<sup>2</sup>. Cette diminution s'explique par la protection solaire avec lamelles mobiles installée sur la façade. La consommation de l'éclairage et du chauffage augmentent toutefois nettement. Ceci s'explique par le fait que les lamelles mobiles permettent la pénétration de rayonnement solaire diffus, mais empêchent l'incidence de lumière solaire directe (protection anti-éblouissement) et que de ce fait en hiver, les gains thermiques gratuits sont réduits et le besoin de chauffage augmente légèrement, bien que ces différences ne se répercutent pas de manière significative sur le calcul général de la consommation du bâtiment où on constate une amélioration de 29,6 % en comparaison avec le bâtiment avant la rénovation et de 32,5 % en comparaison avec le bâtiment rénové sans lamelles ni commande de l'éclairage.

Les résultats obtenus permettent de tirer des conclusions sur les améliorations énergétiques dues à l'utilisation séparée et conjointe du système de protection solaire ainsi que de la commande de l'éclairage.

### Considérations relatives à l'immeuble

Les résultats commentés ci-avant se rapportent au BÂTIMENT (le bâtiment dans son ensemble), incluant les façades, les étages et les espaces intérieurs. Rappelons que le système de protection solaire a uniquement été installé sur les façades est et sud-est (façade en biais) et non sur la façade arrière orientée ouest. Le système de lamelles pare-soleil n'a pas non plus été installé au rez-de-chaussé et à l'entresol, de sorte que les résultats obtenus en matière d'amélioration de la consommation seraient encore meilleurs si des lamelles avaient été placées sur la façade arrière côté ouest ainsi qu'au rez-de-chaussé et à l'entresol.

Pour évaluer l'effet du système de protection solaire et des systèmes de lamelles pare-soleil, une simulation a été réalisée pour une zone représentative dotée d'un système pare-soleil à lamelles, de sorte que les améliorations obtenues dans cette zone n'intègrent pas les autres zones qui ne disposent pas de ces systèmes. Cette simulation est présentée au chapitre suivant.

## 6.3 Bilan énergétique d'une ZONE représentative avec système de lamelles mobiles

Comme déjà indiqué au chapitre Données d'entrée, le système de lamelles mobiles n'a pas été installé à toutes les fenêtres du bâtiment, mais uniquement aux fenêtres du premier au quatrième étage de la façade est, sud-est et sud (pour celle-ci, seules les fenêtres directement attenantes à la façade sud-est ont été prises en compte). Ainsi, seuls 42,2 % de la surface occupée du bâtiment disposent de ce système. En raison de sa configuration géométrique, l'exposition du rez-de-chaussée au rayonnement solaire est totalement différente de celle des autres étages, ce qui complique la mesure de l'effet effectif du système de lamelles mobiles, lorsque les données représentées sont celles de l'étage entier.

Pour obtenir une meilleure approche de cet aspect des propriétés du bâtiment, ce chapitre montre les bilans thermiques calculés dans une zone représentative, dans laquelle le système de lamelles a été utilisé. Dans ce cas, il s'agit de la zone avant 02 du deuxième étage (voir figure 29).

Remarque : toutes les considérations du chapitre précédent s'appuient sur ces données.

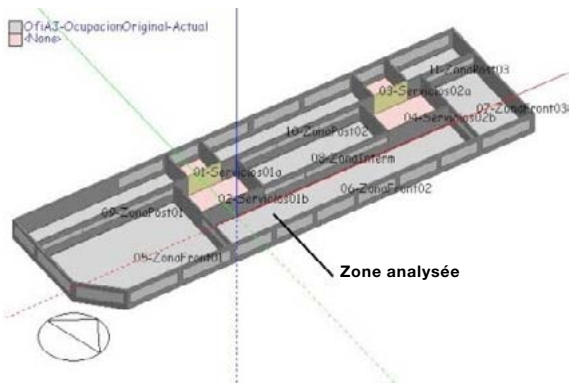


Figure 29 : Identification de la zone analysée dans ce chapitre



	Refroid.	Chauff.	Écl.	Total	Consom. totale
01. État d'origine, sans lamelles, sans commande	-98	1,1	47,8	146,9	6,85 %
02. État actuel, sans lamelles, sans commande	-109,5	0,3	47,8	157,7	réf.
03. État actuel, avec lamelles, sans commande	-80,6	0,6	47,8	129,0	18,20 %
04. État actuel, sans lamelles, avec commande	-89,3	0,7	20,8	110,7	29,80 %
05. État actuel, avec lamelles, avec commande	-60,9	1,0	22,1	84,0	46,73 %

Figure 30 : Tableau comparatif des bilans thermiques généraux de la zone avant 02 (kWh/m<sup>2</sup>)

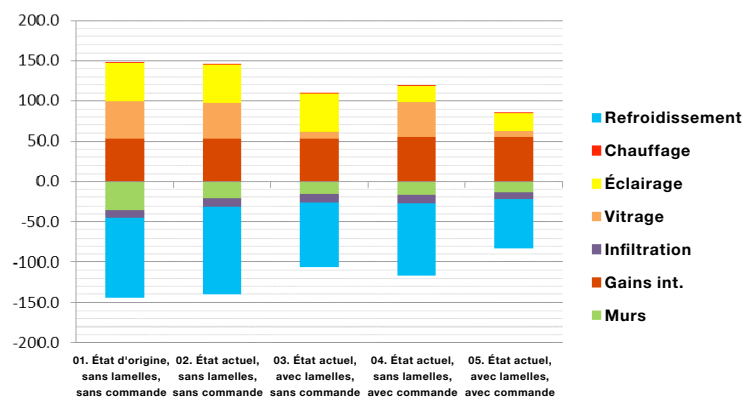


Figure 31 : Graphique comparatif des bilans thermiques généraux de la zone avant 02 (kWh/m<sup>2</sup>)

	Refroid.	Chauff.	Écl.	Total	Amélior.
01. État d'origine, sans lamelles, sans commande	-98,0	1,1	47,8	146,9	Réf.
02. État actuel, sans lamelles, sans commande	-109,5	0,3	47,8	157,7	-7,4 %
03. État actuel, avec lamelles, sans commande	-80,6	0,6	47,8	129,0	12,2 %
04. État actuel, sans lamelles, avec commande	-89,3	0,7	20,8	110,7	24,6 %
05. État actuel, avec lamelles, avec commande	-60,9	1,0	22,1	84,0	42,8 %

Figure 32 : Tableau comparatif des bilans thermiques généraux de la zone avant 02 (kWh/m<sup>2</sup>)

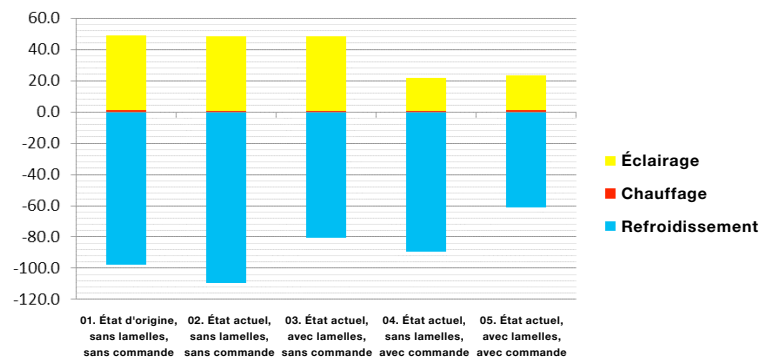


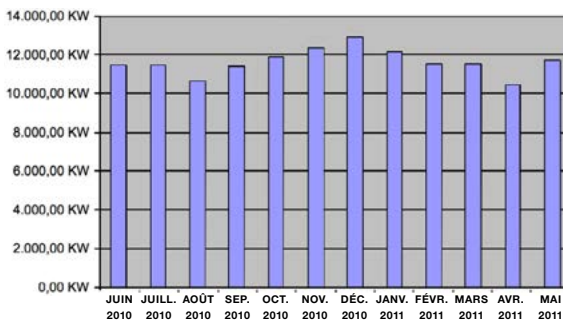
Figure 33 : Tableau comparatif des bilans thermiques partiels de la zone avant 02 (kWh/m<sup>2</sup>)

On peut constater que les résultats concernant l'amélioration de la consommation énergétique au niveau de la ZONE considérée ont sensiblement augmenté en comparaison avec la consommation au niveau du BÂTIMENT, dans le sens que l'on note une amélioration de 42,8 % en comparaison avec le bâtiment avant la rénovation et de 46,7 % en comparaison avec le bâtiment rénové sans lamelles et sans commande de l'éclairage.

## 6.4 Comparaison entre les valeurs de consommation mesurées et simulées de l'éclairage

Étant donné que des valeurs de mesure réelles de la consommation énergétique de l'éclairage du bâtiment entier pour une année complète (scénario 05) sont disponibles, nous pouvons les comparer avec les données obtenues avec les simulations.

Ci-après, représentation de la consommation de courant du module LRA de LUXMATE pour la période de juin 2010 à mai 2011.



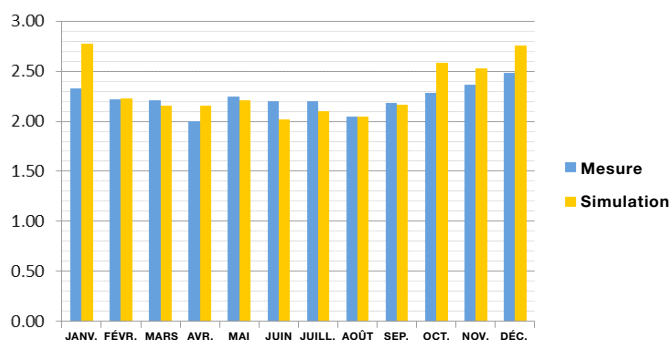
Bâtiment	SERVEIS TERRITORIALS DE TREBALL
Emplacement	C/ Carrera 12-24. BARCELONE
Début	01 juin 2010
Fin	31 mai 2011
Luminaire DALI :	2 x 36 W
Nombre de lampes :	1137
Puissance installée (W)	81 864
Juin 2010	11 450,26 KW
Juillet 2010	11 462,26 KW
Août 2010	10 657,44 KW
Septembre 2010	11 370,64 KW
Octobre 2010	11 878,58 KW
Novembre 2010	12 315,18 KW
Décembre 2010	12 910,79 KW
Janvier 2011	12 134,43 KW
Février 2011	11 539,17 KW
Mars 2011	11 522,12 KW
Avril 2011	10 443,91 KW
Mai 2011	11 714,40 KW
Total	139 399,18 KW

L'analyse comparative est représentée dans le tableau de la figure 34 et sur les graphiques de la figure 35. On peut constater qu'en gros les données mesurées coïncident avec celles des simulations. Le premier et le dernier mois, les écarts sont importants, mais le reste du temps, les données sont assez similaires. Lorsqu'on tient en outre compte des valeurs de consommation annuelle, l'écart est de seulement 3,5 %.

Cette comparaison confirme la fiabilité des modèles de simulation développés, avant tout en ce qui concerne le fonctionnement des lamelles mobiles et du système de commande de l'éclairage. Les autres paramètres de consommation, comme le chauffage et le refroidissement ne peuvent pas être comparés, vu que nous ne disposons pas de données de mesure différenciées.

	Mesurées	Simulation	Écart
Jan.	2,33	2,77	-19,1 %
Févr.	2,21	2,23	-0,6 %
Mars	2,21	2,15	2,7 %
Avr.	2,00	2,15	-7,3 %
Mai	2,25	2,21	1,8 %
Juin	2,20	2,02	8,1 %
Juill.	2,20	2,10	4,5 %
Août	2,05	2,05	0,0 %
Sept.	2,18	2,17	0,7 %
Oct.	2,28	2,58	-13,2 %
Nov.	2,36	2,52	-6,8 %
Déc.	2,48	2,75	-11,1 %
Total	26,76	27,71	-3,5 %

**Figure 34** : Tableau comparatif des valeurs de consommation de l'éclairage mesurées et simulées dans le scénario 05 (kWh/m<sup>2</sup>)



**Figure 35** : Tableau comparatif des valeurs de consommation de l'éclairage mesurées et simulées dans le scénario 05 (kWh/m<sup>2</sup>)

Les faibles différences entre les valeurs de consommation réelle mesurées sur l'installation et les valeurs obtenues par la simulation peuvent être dues aux facteurs suivants :

1. La période d'utilisation du bâtiment prise en compte pour la simulation peut différer dans une certaine mesure de la période d'utilisation réelle du bâtiment.
2. Les données du fichier climatique utilisé pour la simulation proviennent d'une banque de données de l'IWEC (Ashrae) et diffèrent dans une certaine mesure des données climatiques réelles de la période pour laquelle nous disposons de données de consommation de l'éclairage, à savoir de juin 2010 à mai 2011. Comme des données climatiques réelles sont disponibles, mises à disposition par le service météorologique catalan « Servei Meteorològic de Catalunya – METEOCAT » et provenant d'une station météorologique proche du bâtiment sujet de cette étude, les données ont pu être comparées (déjà expliquées au chapitre 5.1 de la présente étude). Comparaison :

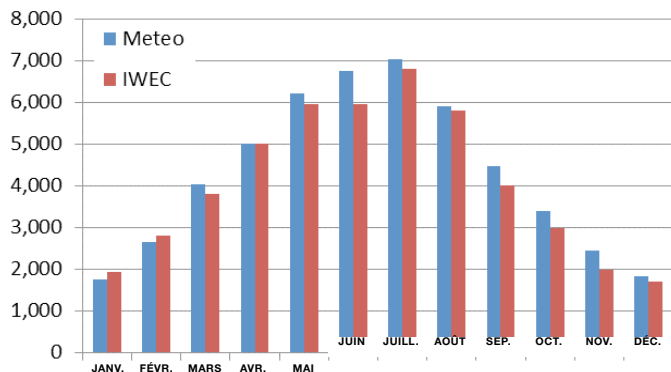


Figure 36 : Comparaison du rayonnement solaire horizontal global (Wh/m²).

3. Lors de la simulation, la lumière pénétrant dans les subdivisions internes séparant les zones des façades des espaces intérieurs n'a pas été prise en compte, ce qui a conduit à des différences entre les valeurs réelles de consommation mesurées sur l'installation et les valeurs déterminées par la simulation.

Ce chapitre présente les conclusions tirées de l'étude réalisée.

Cette étude a été réalisée sur l'exemple d'un bâtiment récemment rénové dans lequel un système de lamelles extérieur et un commande de l'éclairage Luxmate ont été installés et pour lequel des données réelles de la consommation de l'éclairage sont disponibles pour la période de mai 2010 à mai 2011. Des valeurs de consommation réelles du système de climatisation ne sont toutefois pas disponibles, étant donné que les valeurs n'ont pas pu être relevées sur l'analyseur de réseau situé dans l'armoire à fusibles.

Cette étude quantifie l'influence d'un système de régulation de l'éclairage avec système de protection solaire à lamelles extérieur sur la consommation énergétique du bâtiment, non seulement en ce qui concerne la consommation de l'éclairage mais également celle du système de climatisation.

## 7.1 Scénarios du BÂTIMENT

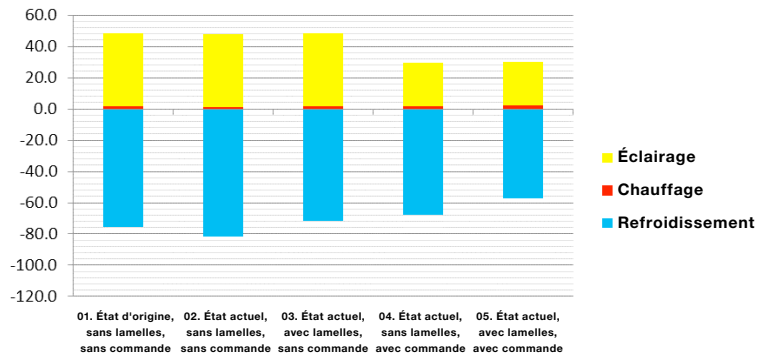
Différents scénarios ont été simulés afin d'estimer les améliorations au niveau de la consommation énergétique apportées par une commande de l'éclairage et un système de lamelles extérieur. Les deux systèmes ont été évalués ensemble et séparément. Résumé des scénarios :

- Scénario 01 : bâtiment d'origine (avant la rénovation) sans lamelles mobiles et sans commande de l'éclairage
- Scénario 02 : bâtiment actuel rénové, sans lamelles mobiles et sans commande de l'éclairage
- Scénario 03 : bâtiment actuel rénové, avec lamelles mobiles, sans commande de l'éclairage
- Scénario 04 : bâtiment actuel rénové, sans lamelles mobiles, avec commande de l'éclairage
- Scénario 05 : bâtiment actuel rénové, avec lamelles mobiles et avec commande de l'éclairage

La simulation a été réalisée au niveau du BÂTIMENT et au niveau d'une ZONE. Dans le premier cas (niveau du BÂTIMENT), la simulation englobe toutes les zones et tous les étages du bâtiment et apporte de résultats en termes de consommation énergétique en liaison avec le système d'éclairage et le système de climatisation de chaque scénario. Résumé des résultats :

	Refroid.	Refroid. amélioré	Chauffage	Chauffage amélioré	Écl.	Écl. amélioré.	Total	Consommation totale	
01. État d'origine, sans lamelles, sans commande	-75,4	7,48 %	1,9	7,9	46,7	36,3	124,1	5,4	4,17 %
02. État actuel, sans lamelles, sans commande	-81,5	Réf.	1,3	8,0	46,7	40,3	129,5	Réf.	Réf.
03. État actuel, avec lamelles, sans commande	-71,6	12,15 %	1,5	-15,38 %	46,7	0 %	119,8	9,7	7,49 %
04. État actuel, sans lamelles, avec commande	-68,0	16,56 %	1,9	-46,15 %	27,4	41,33 %	97,3	32,2	24,86 %
05. État actuel, avec lamelles, avec commande	-57,5	29,45 %	2,2	-69,23 %	27,7	40,69 %	87,4	42,1	32,51 %

Figure 37 : Tableau comparatif des bilans thermiques partiels du bâtiment (kWh/m<sup>2</sup>)



**Figure 38** : Graphique comparatif des bilans thermiques partiels du bâtiment (kWh/m²)

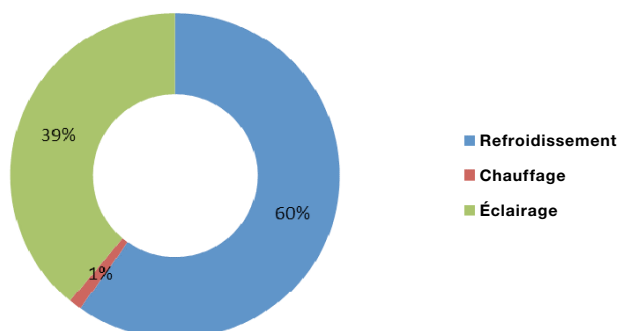
Signalons que tant la façade arrière (orientée ouest) que les fenêtres des façades principales du rez-de-chaussée et de l'entresol (orientées est) ne disposent pas de système de lamelles mobiles. C'est pourquoi les résultats obtenus intègrent les zones avec lamelles tout comme les zones sans protection solaire. N'empêche que les résultats obtenus avec les scénarios 03, 04, et 05 sont significatifs.

### 7.1.1 Analyse du scénario 03 (bâtiment actuel, avec lamelles, sans commande) – NIVEAU DU BÂTIMENT

En prenant les résultats du scénarios 02 (bâtiment actuel, sans lamelles, sans commande) comme référence, on constate dans le scénario 03 (uniquement par la mise en œuvre d'un système de lamelles extérieur) une baisse de la consommation énergétique de l'éclairage + climatisation de 7,50 %.

Ce scénario 03 permet de faire des économies d'énergie uniquement du fait de l'utilisation d'un système de lamelles sur les surfaces vitrées du bâtiment.

Les valeurs de consommation énergétique du refroidissement, du chauffage et de l'éclairage sont réparties comme suit :



Répartition des économies générales en % selon le type de consommateur d'énergie :

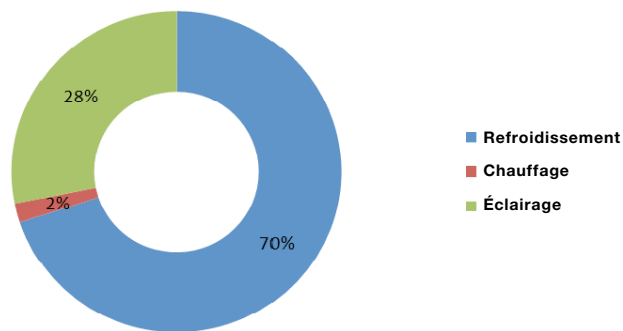
- Refroidissement : on enregistre une diminution de 12,14 % de la consommation de l'éclairage par rapport au scénario 02. On reconnaît clairement l'influence des lamelles sur le système de refroidissement, celles-ci ayant comme fonction d'empêcher la pénétration directe du rayonnement solaire à travers les surfaces vitrées de la façade. Rappelons que les résultats se rapportent au bâtiment global et incluent les zones du bâtiment ne disposant pas de système de protection solaire à lamelles (façade arrière orientée ouest et façade principale orientée est du rez-de-chaussée et de l'entresol).
- Chauffage : ici, la consommation du chauffage augmente de 15,4 % par rapport au même bâtiment sans lamelles extérieures aux fenêtres. Le fait que les lamelles extérieures protègent contre l'incidence directe du rayonnement solaire a des répercussions nettes sur le système de chauffage, car il s'agit ici de gains thermiques gratuits réduisant les besoins de chauffage. La pondération de la consommation du chauffage en comparaison avec celle de l'éclairage et du refroidissement n'est pas particulièrement représentative en raison de l'emplacement et des propriétés du bâtiment, l'augmentation de 15,4 % n'ayant pas un grand impact sur le calcul de la consommation générale d'énergie. En outre, cette évaluation de la consommation énergétique ne tient pas compte des aspects susceptibles d'augmenter le confort des personnes séjournant dans le bâtiment, car l'empêchement de l'incidence directe du rayonnement solaire protège contre l'éblouissement et contre un réchauffement excessif des corps à proximité des fenêtres même en hiver.
- Éclairage : celui-ci reste constant, étant donné que ni le scénario 02 ni le scénario 03 ne disposent d'une commande de l'éclairage et que l'éclairage fonctionne à 100 % pendant l'utilisation du bâtiment, sans prise en considération de la lumière du jour incidente.

## 7.1.2 Analyse du scénario 04 (bâtiment actuel, sans lamelles, avec commande) – NIVEAU DU BÂTIMENT

Dans le scénario 04 (avec système de commande de l'éclairage, mais sans lamelles), on peut observer une diminution de 24,9 % par rapport au scénario 02.

Ce scénario 04 permet de réaliser des économies d'énergie uniquement du fait de l'utilisation du système de commande de l'éclairage.

Les valeurs de consommation énergétique du refroidissement, du chauffage et de l'éclairage sont réparties comme suit :



Répartition des économies générales en % selon le type de consommateur d'énergie :

- Refroidissement : dans ce cas, la consommation du refroidissement baisse de 16,56 % par rapport au scénario 02. Ce résultat s'explique par la réduction des gains internes apportés par l'éclairage que le système de climatisation doit contrecarrer, parce qu'un système de régulation de l'éclairage permet de régler l'éclairage en fonction de la lumière du jour pénétrant par les surfaces vitrées de la façade.
- Chauffage : dans ce cas, la consommation du chauffage augmente de 46,15 % par rapport au même bâtiment sans commande de l'éclairage. Ceci est dû au fait que les gains internes apportés par l'éclairage diminuent, qui en hiver bénéficient au système de chauffage, qui doit réagir en conséquence. La pondération de la consommation du chauffage en comparaison avec celle de l'éclairage et du refroidissement n'est pas particulièrement représentative en raison de l'emplacement et des propriétés du bâtiment, l'augmentation de 46,15 % n'ayant pas un grand impact sur le calcul de la consommation générale d'énergie.
- Éclairage : du fait de l'utilisation du système de commande de l'éclairage, la consommation énergétique de l'éclairage diminue de 41,32 % par rapport au même immeuble sans commande de l'éclairage.

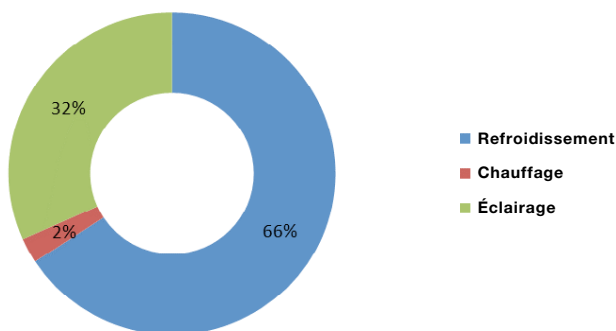


### 7.1.3 Analyse du scénario 05 (bâtiment actuel, sans lamelles avec commande de l'éclairage) – NIVEAU DU BÂTIMENT

Dans le scénario 05 (avec système de commande de l'éclairage et lamelles mobiles sur les surfaces vitrées de la façade), on enregistre une baisse de 32,51 % par rapport au scénario 02.

Ce scénario 05 permet de faire des économies d'énergie en raison de la combinaison d'un système de commande de l'éclairage et d'un système de lamelles mobiles sur les surfaces vitrées du bâtiment.

Les valeurs de consommation énergétique du refroidissement, du chauffage et de l'éclairage sont réparties comme suit :



Répartition des économies générales en % selon le type de consommateur d'énergie :

- Refroidissement : ici, on constate une diminution de 29,44 % de la consommation du refroidissement par rapport au scénario 02, du fait de la combinaison d'un système de commande de l'éclairage et d'un système de lamelles mobiles sur les surfaces vitrées de la façade.
- Chauffage : dans ce cas, la consommation du chauffage augmente de 69,23 % par rapport au même bâtiment sans commande de l'éclairage et sans lamelles mobiles. Ce résultat est à imputer aux gains internes apportés par l'éclairage, dont le chauffage bénéficie en hiver et au fait que les gains internes gratuits apportés par l'incidence directe du rayonnement solaire à travers les fenêtres diminuent également et que le système de chauffage doit compenser ces diminutions. Cette augmentation n'a toutefois pas de grand impact, étant donné qu'en comparaison avec le refroidissement et l'éclairage, le chauffage ne pèse pas particulièrement dans la balance pour le calcul de la consommation générale d'énergie de l'immeuble.
- Éclairage : dans ce cas, la consommation du système d'éclairage baisse de 40,68 % par rapport au même bâtiment sans commande de l'éclairage et sans lamelles mobiles. Ce pourcentage est quelque peu inférieur à celui du scénario 04 (41,32 %), étant donné que - comme nous l'avons expliqué plus haut - les lamelles extérieures mobiles empêchent le rayonnement solaire de pénétrer par les fenêtres de la façade, réduisent également la pénétration de lumière du jour et que l'éclairage doit ainsi être légèrement augmenté.

## 7.2 Scénarios d'une ZONE

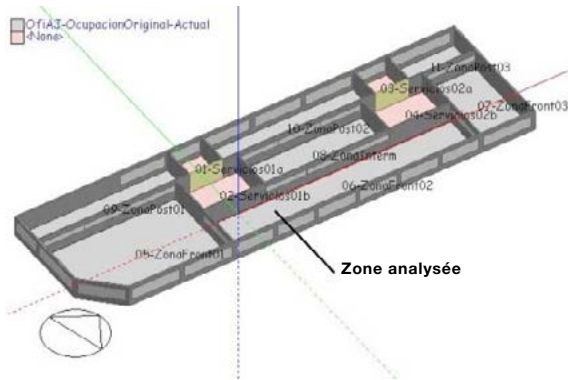


Figure 39 : Identification de la zone analysée dans ce chapitre

Lorsque la simulation s'effectue au niveau d'une ZONE, les résultats diffèrent sensiblement. Nous avons procédé à la simulation d'une zone disposant d'un système de lamelles mobiles sur la façade. La simulation porte sur la zone désignée par « zone avant 02 » sur le croquis, dont la façade est orientée est.

La simulation de cette zone unique de l'immeuble permet d'évaluer plus précisément l'influence d'un système de lamelles mobiles sur la façade, étant donné que les bilans énergétiques de zones du bâtiment ne disposant pas de ce système (par exemples les pièces du rez-de-chaussée et de l'entresol ainsi que celles donnant sur la façade arrière orientée ouest) n'influencent pas les résultats.

Résultats de la zone analysée :

	Refruid.	Refruid. amélioré	Chauffage	Chauffage amélioré	Écl.	amélioré. Écl.	Total	Consommation totale	
01. État d'origine, sans lamelles, sans commande	-98	10,50 %	1,1	7,9	47,8	36,3	146,9	10,8	6,85 %
02. État actuel, sans lamelles, sans commande	-109,5	Réf.	0,3	8,0	47,8	40,3	157,7	Réf.	Réf.
03. État actuel, avec lamelles, sans commande	-80,6	26,39 %	0,6	-100,00 %	47,8	0 %	129,0	28,7	18,20 %
04. État actuel, sans lamelles, avec commande	-89,3	18,45 %	0,7	-133,33 %	20,8	56,49 %	110,7	47,0	29,80 %
05. État actuel, avec lamelles, avec commande	-60,9	44,38 %	1,0	-233,33 %	22,1	53,77 %	84,0	73,7	46,73 %

Figure 40 : Tableau comparatif des bilans thermiques généraux de la face avant 02 (kWh/m<sup>2</sup>)

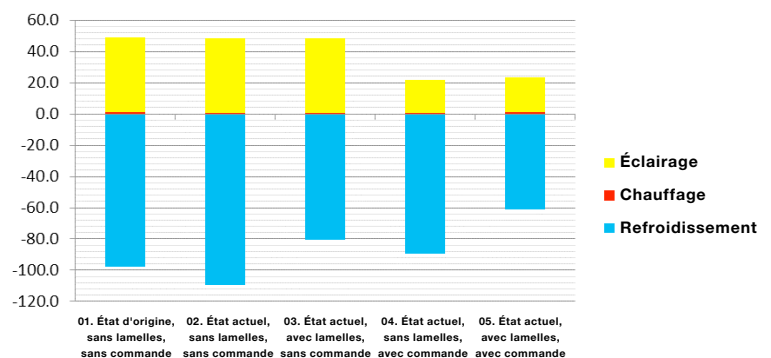
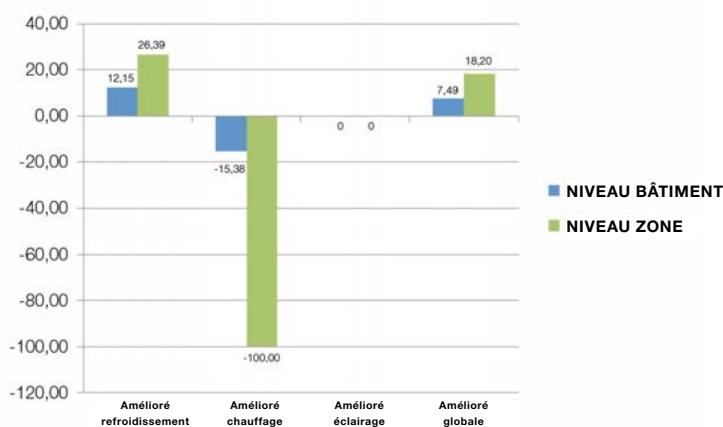


Figure 41 : Tableau comparatif des bilans thermiques partiels de la face avant 02 (kWh/m<sup>2</sup>)

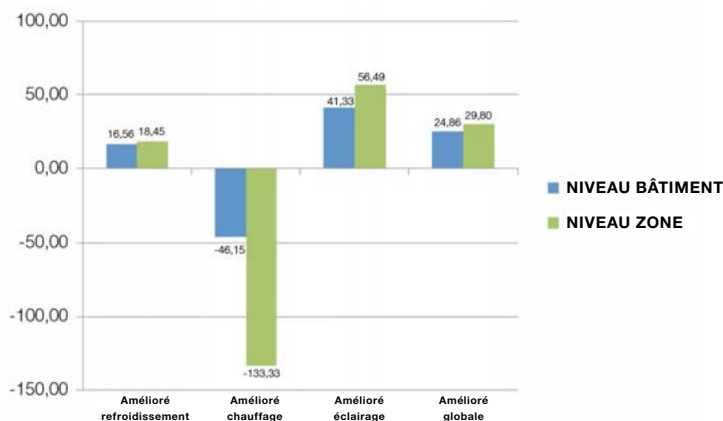
Nous montrons ci-après un graphique comparatif des améliorations obtenues avec chaque scénario simulé pour le niveau BÂTIMENT ainsi que pour le niveau ZONE par rapport au scénario 02 (bâtiment actuel, sans lamelles, sans commande) :

### 7.2.1 Analyse du scénario 03 (bâtiment actuel, avec lamelles, sans commande) – NIVEAU ZONE



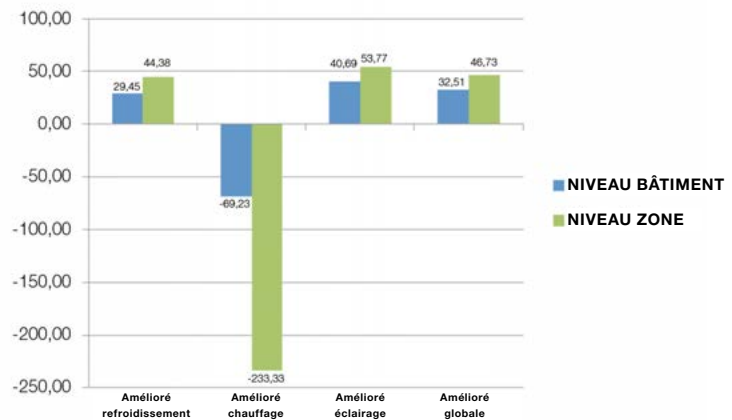
**Figure 42** : Graphique comparatif des améliorations du scénario 03 - NIVEAU BÂTIMENT par rapport au NIVEAU ZONE

### 7.2.2 Analyse du scénario 04 (bâtiment actuel, sans lamelles, avec commande) – NIVEAU ZONE



**Figure 43** : Graphique comparatif des améliorations du scénario 04 - NIVEAU BÂTIMENT par rapport au NIVEAU ZONE

### 7.2.3 Analyse du scénario 05 (bâtiment actuel, avec lamelles, avec commande) – NIVEAU ZONE



**Figure 44** : Graphique comparatif des améliorations du scénario 05 - NIVEAU BÂTIMENT par rapport au NIVEAU ZONE

## 7.3 Résumé des résultats

Des comparaisons ci-avant, il ressort que les améliorations en termes d'économies générales d'énergie sont nettement plus importantes dans la simulation au niveau d'une ZONE, étant donné que - comme mentionné précédemment - les zones de l'immeuble dans lesquelles la façade ne comprend pas de systèmes à lamelles n'entrent pas en ligne de compte.

Dans le cas concret du système de refroidissement, il faut tenir compte du fait qu'au niveau ZONE, une seule pièce dont la façade est orientée ouest a été simulée. Si la simulation avait porté sur une pièce orientée ouest avec un système de lamelles mobiles, les économies d'énergie du système de refroidissement auraient été encore plus importantes, étant donné qu'en été, dans une ville comme Barcelone, l'incidence du rayonnement solaire est nettement plus forte du côté ouest (soleil couchant) que du côté est (soleil levant). L'immeuble qui a fait l'objet de cette étude ne dispose toutefois pas de protection solaire sur la façade ouest.

Ces résultats et les comparaisons faites ci-avant montrent que sous un climat comme celui de Barcelone et dans un immeuble administratif présentant de lourdes charges en termes d'appareils, d'éclairage et d'occupation, les charges sont presque toujours positives, ce qui fait que le système de refroidissement doit les contrecarrer pendant toute l'année. C'est pourquoi le système de chauffage ne pèse pratiquement pas dans la consommation générale d'énergie de l'immeuble.

Aussi est-il fortement conseillé d'installer un système de protection solaire à lamelles mobiles sur les surfaces vitrées des façades aux sites bénéficiant d'un climat comparable à celui de Barcelone, et dont l'utilisation est comparable à celle du bâtiment simulé, étant donné que - comme montré ci-avant - d'importantes économies d'énergie peuvent être réalisées au niveau du système de refroidissement.

Les économies (scénario 03) réalisées en termes de consommation globale du bâtiment s'élèvent à 18,20 % en relation avec une ZONE et à 7,49 % en relation avec le BÂTIMENT entier.

Pour l'éclairage, on obtient une réduction de la consommation du fait de l'utilisation d'une commande de l'éclairage de 56,49 % dans la ZONE orientée est et de 41,33 % au niveau du BÂTIMENT.

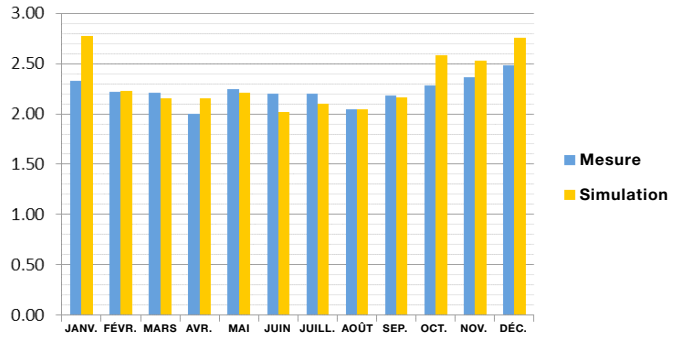
Cette commande est à elle seule responsable d'une économie de 29,80 % de la consommation (climatisation + éclairage) au niveau de la ZONE et de 24,86 % de la consommation (climatisation + éclairage) au niveau du BÂTIMENT. Ce résultat démontre bien l'importance d'une commande de l'éclairage.

De l'étude d'une combinaison de lamelles mobiles et d'une commande de l'éclairage, il ressort que la commande de l'éclairage économise à elle seule 53,77 % de la consommation d'éclairage au niveau de la ZONE et 40,69 % au niveau du BÂTIMENT. L'amélioration de la consommation (climatisation + éclairage) apportée par les lamelles mobiles et la commande de l'éclairage est de 43,73 % dans la ZONE et de 32,51 % dans le BÂTIMENT, ce qui permet de conclure que la combinaison de lamelles mobiles et de commande de l'éclairage a un impact extrêmement positif sur les économies d'énergie du bâtiment.

Pour terminer, signalons encore que la consommation de l'éclairage simulée a été comparée à celle de l'installation en fonctionnement et que des valeurs très similaires ont été obtenues, comme le montre le graphique ci-après :

	Mesurées	Simulation	Écart
Jan.	2,33	2,77	-19,1 %
Févr.	2,21	2,23	-0,6 %
Mars	2,21	2,15	2,7 %
Avr.	2,00	2,15	-7,3 %
Mai	2,25	2,21	1,8 %
Juin	2,20	2,02	8,1 %
Juill.	2,20	2,10	4,5 %
Août	2,05	2,05	0,0 %
Sept.	2,18	2,17	0,7 %
Oct.	2,28	2,58	-13,2 %
Nov.	2,36	2,52	-6,8 %
Déc.	2,48	2,75	-11,1 %
Total	26,76	27,71	-3,5 %

**Figure 45 :** Tableau comparatif des valeurs de consommation de l'éclairage mesurées et simulées dans le scénario 05 (kWh/m<sup>2</sup>)



**Figure 46 :** Tableau comparatif des valeurs de consommation de l'éclairage mesurées et simulées dans le scénario 05 (kWh/m<sup>2</sup>)

Du fait de similitude entre les résultats de consommation obtenus par simulation et ceux correspondant à l'éclairage réel, cette étude acquiert un haut degré de fiabilité.



Barcelone, janvier 2012

L'EXPERT

Juan Hernández Mayor Dr. Ing.,  
membre de l'ordre professionnel n°  
3 687 COEIC





# ZUMTOBEL

## France

Zumtobel Lumière Sarl  
10 rue d'Uzès  
75002 Paris  
T +33/(0)1.56.33.32.50  
F +33/(0)1.56.33.32.59  
info@zumtobel.fr  
zumtobel.fr

Zumtobel Lumière Sarl  
119 cours Lafayette  
69006 Lyon  
T +33 6 07 53 34 04  
info@zumtobel.fr  
zumtobel.fr

Zumtobel Lumière Sarl  
12 rue du 24 novembre  
67120 Duttlenheim  
T +33/(0)3.88.13.78.10  
F +33/(0)3.88.13.78.14  
info@zumtobel.fr  
zumtobel.fr

Zumtobel Lumière Sarl  
3 rue du Général Hulot  
54000 Nancy  
T +33/(0)6.07.88.46.78  
F +33/(0)1.56.33.32.59  
info@zumtobel.fr  
zumtobel.fr

Zumtobel Lumière Sarl  
7 avenue du Clos Joury  
35650 Le Rheu  
T +33(0)7.61.64.68.80  
F +33(0)1.56.33.32.59  
info@zumtobel.fr  
zumtobel.fr

## Suisse

Zumtobel Licht AG  
Thurgauerstrasse 39  
8050 Zürich  
T +41/(0)44/305 35 35  
F +41/(0)44/305 35 36  
info@zumtobel.ch  
zumtobel.ch

Zumtobel Lumière SA  
Ch. des Fayards 2  
Z.I. Ouest B  
1032 Romanel-sur-Lausanne  
T +41/(0)21/648 13 31  
F +41/(0)21/647 90 05  
info@zumtobel.ch  
zumtobel.ch

Zumtobel Illuminazione SA  
Via Besso 11, C.P. 745  
6903 Lugano  
T +41/(0)91/942 61 51  
F +41/(0)91/942 25 41  
info@zumtobel.ch  
zumtobel.ch

## Belgique

ZG Lighting Benelux  
Rijksweg 47 –  
Industriezone Puurs Nr. 442  
2870 Puurs  
T +32/(0)3/860.93.93  
F +32/(0)3/886.25.00  
info@zumtobel.be  
zumtobel.be

## Luxembourg

ZG Lighting Benelux  
Rue de Luxembourg 177  
8077 Bertrange – Luxembourg  
T +352/26.44.03.50  
F +352/26.44.03.51  
info@zumtobel.lu  
zumtobel.lu

## Headquarters

Zumtobel Lighting GmbH  
Schweizer Strasse 30  
Postfach 72  
6851 Dornbirn, AUSTRIA  
T +43/(0)5572/390-0  
info@zumtobel.info

## zumtobel.com