



# ÉCLAIRAGE EFFICACE ET INTELLIGENT

Dr. DAHHAOUI Hachimi



# PLAN DU COURS

- ❑ **Revue des technologies d'éclairage industriel**
- ❑ **Aperçu des systèmes LED intelligents**
- ❑ **Réduction jusqu'à 90 % de la consommation énergétique : aspects économiques des LED intelligentes en réhabilitation**
- ❑ **Principaux clients industriels et commerciaux**
- ❑ **Études de cas : rénovation énergétique (retrofit) et construction neuve**
- ❑ **Perspectives de l'éclairage LED intelligent dans le cadre de la réhabilitation énergétique**



# ÉCLAIRAGE INDUSTRIEL TRADITIONNEL



**HID (High-Intensity Discharge, lampes à décharge à haute intensité) –**

**MH (Metal Halide, halogénures métalliques) & HPS (High-Pressure Sodium, sodium haute pression)**

- ✓ **Coût d'exploitation très élevé**
- ✓ **Production de chaleur importante**, majorant la charge des systèmes de CVC (chauffage, ventilation, climatisation)
- ✓ **Changement de lampes tous les 2 ans** → coûts et interventions de maintenance récurrentes
- ✓ **Contient du mercure et du plomb** → élimination complexe et coûteuse lors de travaux de rénovation
- ✓ **Pas de cyclage ON/OFF (marche/arrêt) possible** → empêche la modulation en fonction de l'occupation et des heures creuses



**Fluorescent T12 (tube fluorescent de 38 mm, désignation "T12")**

- ✓ **Allumage progressif** : ne délivre pas immédiatement son flux lumineux optimal
- ✓ **Maintenance fréquente** (remplacement de tubes et de ballasts) → coûts et interruptions de service
- ✓ **Cyclage ON/OFF (marche/arrêt) limité** → difficultés à intégrer des stratégies de gestion dynamique de l'éclairage
- ✓ **Contient du mercure** → même problématique de déchet toxique en cas de rénovation

Dans un projet de réhabilitation énergétique, ces systèmes « legacy » génèrent :

- Surcoûts d'exploitation et de maintenance
- Charges thermiques supplémentaires
- Contraintes réglementaires pour le traitement des déchets toxiques

Remplacement par des LED intelligentes permet de réduire la consommation, d'optimiser la maintenance et d'alléger la charge thermique des bâtiments rénovés.

# ÉCLAIRAGE INDUSTRIEL ACTUEL



## Tube fluorescent T8 (26 mm) & T5HO (T5 High Output, tube fluorescent T5 à haut rendement, 16 mm)

• Plus efficace que le tube T12 (38 mm), mais de nombreux inconvénients subsistent :

- ✓ **Allumage initial lent** (mise à flux complet après plusieurs secondes)
- ✓ **Maintenance fréquente** (remplacement de tubes et de ballasts)
- ✓ **Cyclage ON/OFF (marche/arrêt) minimal** → difficile à associer à une gestion dynamique de l'éclairage
- ✓ **Contient du mercure** → élimination complexe et coûteuse
- ✓ **Performance T5HO dégradée à basses températures**

## LEDs « standard » (Plain LEDs)

- ✓ **Rendement supérieur aux tubes fluorescents**
- ✓ **Durée de vie plus longue et absence de mercure** → maintenance et recyclage allégés
- ✓ **Gestion lumineuse limitée** sans capteurs ni pilotage intégré

## Systèmes LED intelligents (Intelligent LED Systems)

• Rendement énergétique maximal grâce à l'optimisation en continu

• Fonctionnalités intégrées :

- Capteurs de présence**
- Variateurs d'intensité**
- Pilotage horaire et programmation**

• **Adaptation automatique** au niveau d'occupation et à l'apport de lumière naturelle



## Intégration en réhabilitation énergétique

- Tubes T8/T5HO** : solution de transition, mais maintien des coûts de maintenance et de recyclage.
- LEDs standard** : gains immédiats, mais nécessitent un pilotage externe (BMS – Building Management System, système de gestion technique du bâtiment).
- LEDs intelligentes** : meilleures économies, gestion automatique et pilotage centralisé, idéales pour une rénovation globale et performante.

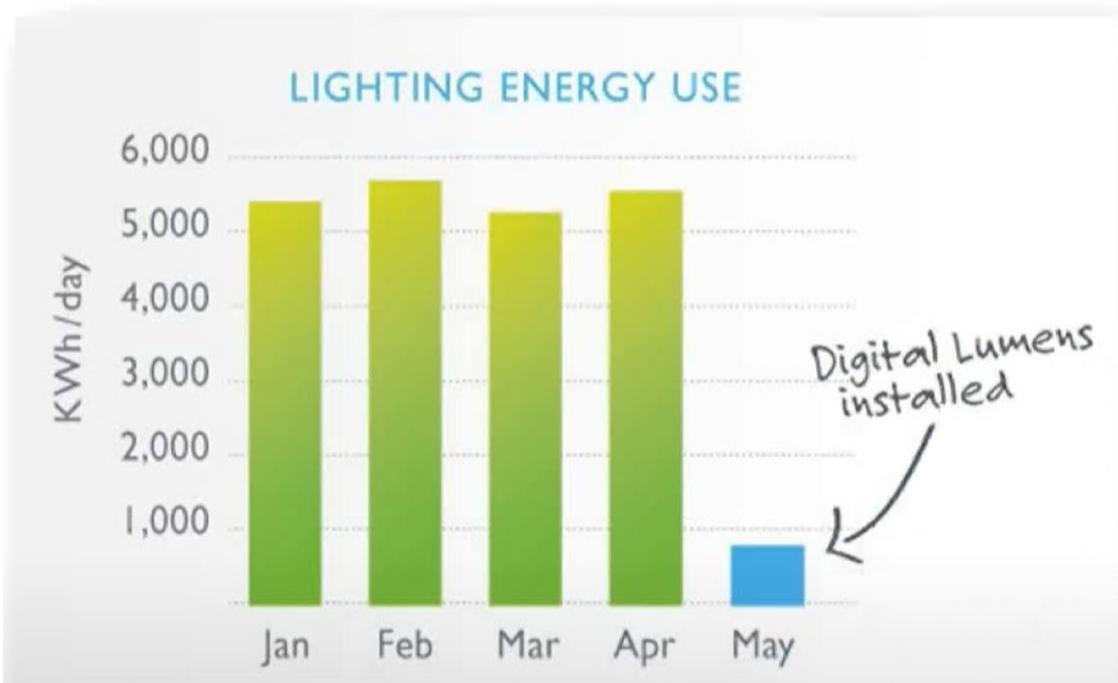
# COMPARAISON DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE

## *Hypothèses de calcul*

- ✓ Coût de l'électricité : 0,10 USD/kWh (kilowattheure)
- ✓ 100 points lumineux
- ✓ 8 760 h/an d'utilisation
- ✓ Pour les options « retrofit », le TCO inclut le coût projet initial ; pour HID et T12, le coût initial n'est pas pris en compte

Technologie	Puissance (W)	Coût annuel énergie (USD)	Maintenance annuelle (USD)	Coût projet initial	Conso. 10 ans (kWh)	Coût global de possession 10 ans (TCO – Total Cost of Ownership, coût global de possession) (USD)
HID (High-Intensity Discharge, lampe à décharge à haute intensité)	450	39 420	10 000	N/A	394 200	494 200
Tube fluorescent T12 (38 mm)	250	21 900	6 500	N/A	219 000	284 000
Tube fluorescent T8 (26 mm) – 6 tubes	300	26 280	6 000	\$\$	262 800	336 800
Tube fluorescent T5HO (T5 High Output, 16 mm) – 6 tubes	350	30 660	6 000	\$\$\$	306 600	380 600
LED standard avec capteurs (Light-Emitting Diode, diode électroluminescente)	155	6 789	0	\$\$\$\$	67 890	137 890
Systèmes LED intelligents	155	2 716	0	\$\$\$\$	27 156	106 656

# 100 % DE L'ÉCLAIRAGE POUR 10 % DE LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE



Graphique « Consommation d'énergie d'éclairage » (kWh/jour)

- De janvier à avril : environ 5 000-5 500 kWh/jour
- Mai (après installation du système Digital Lumens) : environ 500 kWh/jour

Conserver un niveau d'éclairage identique tout en réduisant la consommation d'environ 90 % est un objectif clé en réhabilitation énergétique.

## Points clés

- **Puissance réduite**
- **Système entièrement intégré :**
  - Détection** (capteurs de présence)
  - Variateurs d'intensité** (dimming)
  - Exploitation de la lumière naturelle** (daylight harvesting)
- **Intelligence locale** (pilotage embarqué)
- **Contrôle centralisé** (BMS – Building Management System, système de gestion technique du bâtiment)
- **Excellente qualité de lumière**



# PROJECTEURS INTELLIGENTS ADAPTÉS AUX BESOINS UNIQUES DE CHAQUE INSTALLATION

ILE-3-13



- 13,000 lumens
- 155W

ILE-3-18



- 18,000 lumens
- 215W

ILE-3-26



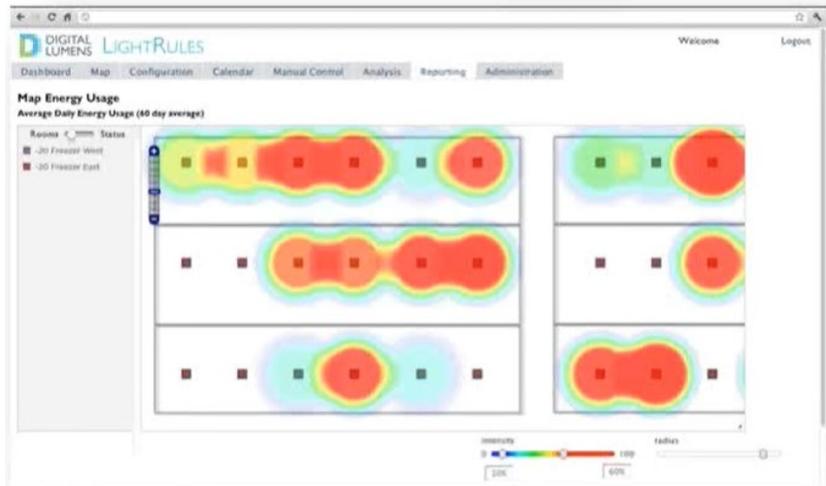
- 26,000 lumens
- 325W

**En réhabilitation énergétique, ces projecteurs offrent une grande flexibilité d'installation, une gestion locale et centralisée, et une optimisation continue de la performance lumineuse et énergétique.**

## Fonctionnalités communes à tous les projecteurs

- Hauteur de pose jusqu'à 15 m (50 ft)
- Trois barres lumineuses **LED** (Light Emitting Diode, diode électroluminescente) indépendamment orientables
- Capteurs de présence** intégrés
- Daylight harvesting** (exploitation automatique de la lumière naturelle)
- Optiques larges ou étroites
- Intelligence embarquée** pour piloter le comportement des luminaires
- Connexion sans fil au logiciel de gestion **LightRules™**
- Durée de vie estimée à 107 000 h
- Garantie 5 ans

# DÉTECTION DE PRÉSENCE HAUTE PERFORMANCE ET VARIATION D'INTENSITÉ (DIMMING)



Facility occupancy map

**Points clés Capteurs de présence conçus et fabriqués par Digital Lumens**

**Intégration complète dans chaque luminaire Module de détection à trois capteurs infrarouges (IR)**

- **Adapté aux hauteurs sous plafond élevées**
- **Performance de détection améliorée**

**Variation d'intensité (dimming), intégrée à chaque luminaire, programmable de 0 à 100 %**

**En réhabilitation énergétique, cette technologie permet :**

- D'ajuster dynamiquement l'éclairage à l'occupation réelle des espaces**
- De réduire significativement la consommation en heures creuses**
- D'optimiser la performance sans intervention humaine**



# TAUX D'OCCUPATION MOYENS EN MILIEU INDUSTRIEL

## Taux d'occupation moyens en milieu industriel

Données issues de 40 sites clients de Digital Lumens :

- Stockage frigorifique** : 15 %
- Quai de déchargement** : 40 %
- Stockage à sec** : 30 %
- Production/manufacture** : 35 %

## Implications pour la réhabilitation énergétique

Adapter les stratégies de **dimming** et de **programmation horaire** selon l'utilisation réelle : faible consommation en stockage froid (15 %), intensification sur les quais (40 %)

- ✓ Dimensionner les **capteurs de présence** pour chaque zone afin de maximiser les économies
- ✓ Optimiser le **BMS (Building Management System, système de gestion technique du bâtiment)** pour piloter précisément l'éclairage et réduire les coûts énergétiques



# EFFET DES RÉGLAGES DES CAPTEURS DE PRÉSENCE SUR LA CONSOMMATION ÉNERGÉTIQUE

Délai du capteur	% « actif »	Coût énergie Systèmes LED intelligents* (155 W)	Coût énergie HID* à 15 min (220 W)
30 s	25,2 %	35 USD/an	190 USD/an
60 s	40,8 %	57 USD/an	190 USD/an
90 s	52,4 %	73 USD/an	190 USD/an
3 min	72,5 %	102 USD/an	190 USD/an
5 min	89,3 %	125 USD/an	190 USD/an
10 min	98,6 %	138 USD/an	190 USD/an

\* Hypothèse : électricité à 0,10 USD/kWh.

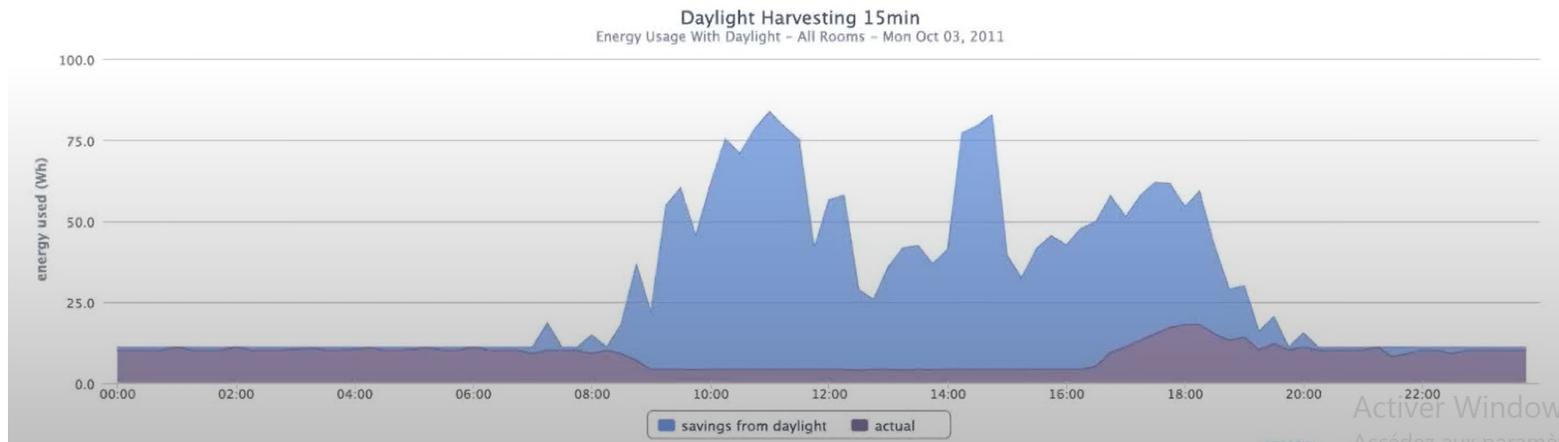
## Recommandations en réhabilitation énergétique

- ❑ **Délai optimal (30–60 s)** : maximise les économies tout en garantissant le confort visuel.
- ❑ **Délai trop long (> 5 min)** : réduit drastiquement l'intérêt de la détection et limite les gains énergétiques.



# EXPLOITATION DE LA LUMIÈRE NATURELLE (DAYLIGHT HARVESTING)

- **Évaluation automatique** de l'éclairage ambiant disponible et **ajustement** de la puissance lumineuse pour maintenir le niveau d'éclairage cible
- **Capteurs photoélectriques** (photo sensors) entièrement intégrés dans chaque luminaire
- **Réduction supplémentaire** de la consommation d'éclairage de **25 à 50 %** selon la lumière naturelle présente
- **Qualité d'éclairage homogène** dans l'ensemble de l'espace



**En réhabilitation énergétique**, l'exploitation de la lumière naturelle permet de :

- Diminuer significativement la charge sur le système d'éclairage en journée
- Réduire la facture énergétique et la consommation électrique (kWh)
- Préserver une uniformité visuelle et le confort des usagers



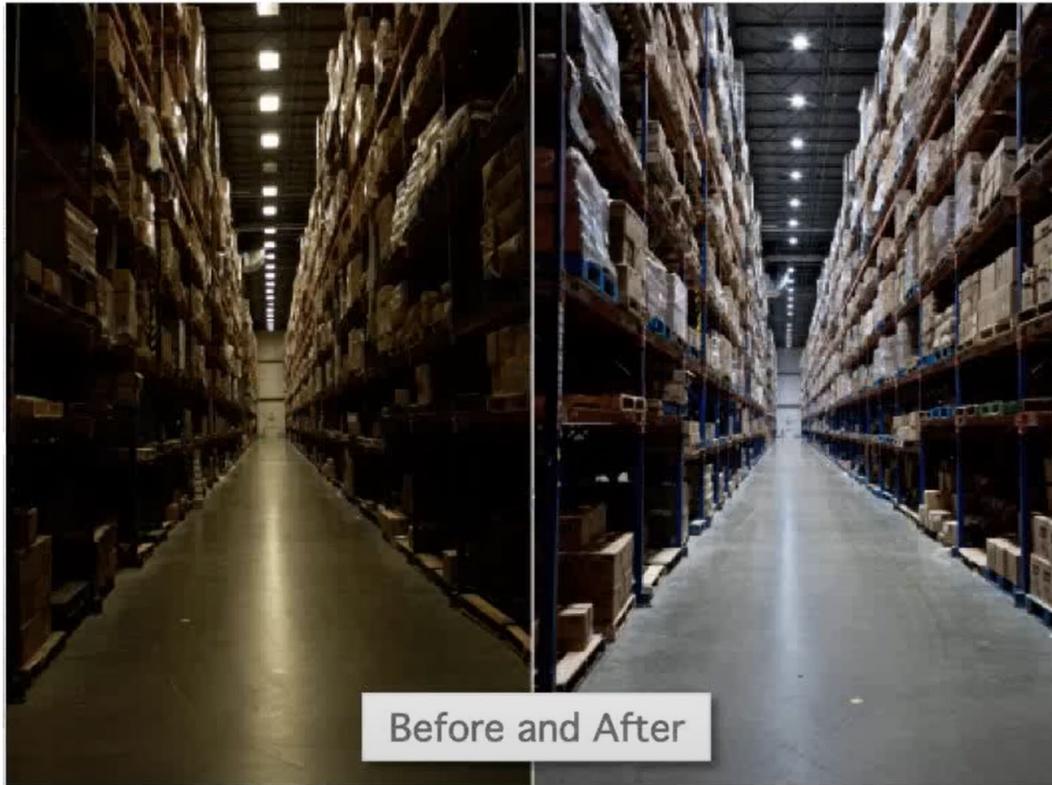
# PLUS D'ÉCONOMIES D'ÉNERGIE AVEC MOINS D'EFFORTS

- Gain moyen d'un retrofit industriel Digital Lumens :
  - 105 891 kWh économisés par an
  - Équivalent à 1 084 rénovations résidentielles ou 46 rénovations commerciales
- Faire plus avec moins :
  - Cibler les **grands consommateurs industriels clés** pour des gains significatifs
  - Réduire drastiquement le nombre de points de contact et la charge de travail pour le fournisseur d'énergie
  - Atteindre rapidement les **objectifs de réduction** de la consommation énergétique

En réhabilitation énergétique, cette approche permet de concentrer les efforts sur les sites à fort potentiel, d'optimiser les ressources et de maximiser l'impact des actions d'efficacité énergétique.



# ÉTUDE DE CAS : ASSOCIATED GROCERS OF NEW ENGLAND

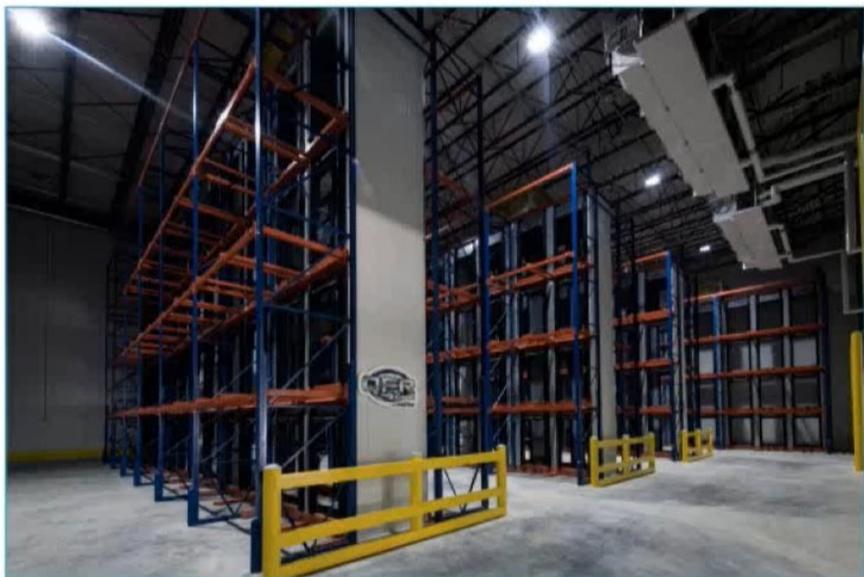


- Surface totale : 35 300 m<sup>2</sup> (380 000 ft<sup>2</sup>) dont 5 200 m<sup>2</sup> (56 000 ft<sup>2</sup>) en chambre froide rénovée
- Type de projet : rénovation énergétique (retrofit)
- Fonctionnement : 24 h/24 – 6 j/7
- Environnement : chambre froide (réfrigérateur)
- Température : – 26 °C (– 15 °F)
- Solution précédente : tubes fluorescents T5HO (T5 High Output)
- Économies annuelles d'énergie (éclairage) : 52 000 USD

## Apport en réhabilitation énergétique

Le remplacement des T5HO par un système LED intelligent en chambre froide réduit non seulement la consommation électrique liée à l'éclairage, mais allège également la charge frigorifique, optimisant ainsi la performance énergétique globale de l'installation.

# ÉTUDE DE CAS : NEW ORLEANS COLD STORAGE



- **Surface** : 13 200 m<sup>2</sup> (142 000 ft<sup>2</sup>)
- **Type de projet** : construction neuve
- **Environnement** : stockage frigorifique (chambre froide)
- **Température** : -26 °C à +2 °C (-15 °F à 35 °F)
- **Solution alternative considérée** : tubes fluorescents T5 (T5 High Output, tube fluorescent T5 à haut rendement)
- **Économies annuelles d'énergie (éclairage)** : 245 764 kWh

## **Apport clé pour la réhabilitation énergétique** (même en construction neuve) :

- Conception dès l'origine d'un éclairage LED intelligent permet d'optimiser la performance énergétique globale
- Réduction de la charge frigorifique grâce à la moindre émission de chaleur des LED
- Flexibilité des réglages (dimming, gestion de la lumière naturelle) pour s'adapter aux variations d'usage et de contraintes thermiques



# ÉTUDE DE CAS : BEN E. KEITH



- **Surface** : 44 100 m<sup>2</sup> (475 000 ft<sup>2</sup>)
- **Type de projet** : construction neuve
- **Environnement** : stockage frigorifique et ambiant
- **Température** : jusqu'à +4 °C (40 °F)
- **Contexte** : s'inscrit dans une initiative majeure de durabilité
- **Déclencheur** : le responsable efficacité énergétique (Energy Efficiency Manager) a lancé le projet après avoir entendu parler des incitations proposées par le fournisseur d'énergie par un pair

**En réhabilitation énergétique (ou construction neuve), cette étude de cas illustre l'importance de :**

- Intégrer dès la conception des systèmes LED intelligents pour maximiser les économies et la durabilité
- Tirer parti des incitations financières disponibles (subventions, tarifs avantageux)
- Associer pilotage automatique (capteurs, daylight harvesting) et contraintes thermiques pour optimiser la performance globale



# ÉTUDE DE CAS APPROFONDIE : SILVER BEAUTY

Localisation	Chicago, Illinois
Activité	Construction et location d'entrepôts dans la région de Chicago
Type d'installation	Entrepôt sec
Surface	16 495 m <sup>2</sup> (177 413 ft <sup>2</sup> )
Horaires de fonctionnement	24 h/24 – 7 j/7
Éclairage antérieur	Lampes à halogénures métalliques (Metal Halide, MH) 1 000 W
Problématiques identifiées	<ul style="list-style-type: none"><li>• Coûts énergétiques et de maintenance élevés</li><li>• Niveaux d'éclairage insuffisants</li><li>• Nuisances sonores (bourdonnement)</li></ul>

## **Apport en réhabilitation énergétique**

Le passage à un système LED intelligent permet de :

- Réduire drastiquement la consommation et les frais de maintenance
- Garantir un éclairage uniforme et conforme aux normes (pas de zones sombres)
- Éliminer les nuisances sonores liées aux ballasts des lampes traditionnelles
- Intégrer fonctionnalités de pilotage (capteurs, dimming, daylight harvesting) pour optimiser la performance



# SILVER BEAUTY : BESOINS & ALTERNATIVES

## Besoins

- **Niveaux d'éclairage élevés** dans les allées à rayonnages et les espaces ouverts
- **Allumage/extinction instantanés** – aucun temps de préchauffage requis
- **Exploitation de la lumière naturelle** (daylight harvesting)
- **Possibilité d'ajustement fin et de reprogrammation** des paramètres d'éclairage lors de modifications de l'agencement – sans intervention sur chaque luminaire
- **Fonctionnement silencieux**
- **Investissement pérenne :**
  - Aucun coût de maintenance ou de remplacement de lampes (re-lamping)
  - Retour sur investissement rapide
  - Longue durée de vie

## Solutions d'éclairage envisagées

- Aucune alternative retenue



# RÉSULTATS – SILVER BEAUTY

## Résultats – Silver Beauty

### •92 % d'économies d'énergie pour l'éclairage

- Passé de 78 335 USD à 4 078 USD/an
- **1 237 626 kWh économisés par an**

### •Qualité d'éclairage excellente sur l'ensemble de l'installation

### •Taux d'occupation mesuré (via LightRules™) dans l'entrepôt n° 5 :

- 30 % dans les allées très fréquentées
- 10–15 % dans le reste de l'espace

•**Leçon tirée** : dans l'entrepôt n° 6, les tubes fluorescents T5 équipés de capteurs de présence présentaient une dégradation rapide de leur durée de vie en raison des cycles marche/arrêt fréquents, même avec des ballasts « basse température ».

**En réhabilitation énergétique**, ces résultats illustrent l'intérêt de :

- Choisir des **solutions LED** conçues pour supporter un cyclage intensif, garantissant fiabilité et longévité
- Exploiter les données de fréquentation pour affiner les réglages et maximiser les économies réelles en conditions opérationnelles
- Préserver la performance frigorifique dans les zones réfrigérées grâce à la faible émission de chaleur des LED



# ÉTUDE DE CAS APPROFONDIE : INCITATION SILVER BEAUTY

## Étude de cas approfondie : incitation Silver Beauty

- **Intervenant** : Mark Allen, ingénieur en efficacité énergétique
- **Programme** : « Smart Ideas for Your Business » de ComEd (Commonwealth Edison)
- **Incitations prescrites vs personnalisées**
- **Conditions pour les incitations personnalisées**
- **Mesures LightRules™ vs relevé du compteur ComEd**

### Contexte réhabilitation énergétique

Ce diaporama présente les modalités d'obtention d'incitations financières pour un projet d'éclairage LED intelligent :

- Choisir entre des incitations standards (« prescrites ») et des aides sur-mesure adaptées à la configuration de l'installation
- Comprendre les critères techniques à respecter pour les programmes personnalisés
- Utiliser les données remontées par LightRules™ pour valider les économies réelles par rapport à la consommation mesurée par le fournisseur d'énergie



# L'AVENIR DE L'ÉCLAIRAGE LED INTELLIGENT

## L'avenir de l'éclairage LED intelligent

- Personnalisation encore plus poussée
- Intégration avec d'autres technologies clés (IoT, capteurs environnementaux, etc.)
- Gestion et supervision dans le **cloud**
- **Réponse automatique à la demande** (demand response) pour participer à la flexibilité du réseau
- Déploiement étendu à **toutes** les applications commerciales et industrielles



# POINT DE VUE INDUSTRIEL

## Point de vue industriel

- **Temps limité** pour évaluer de nombreux produits et technologies
- **Fournisseur d'énergie** perçu comme source d'information **fiable**
- **Responsables EED (Efficacité Énergétique et Durabilité)** : certains y ont accès, mais la majorité n'en dispose pas
- **Retour sur investissement (RSI)** souvent requis en  $\leq 2$  ans ; les **incitations financières** peuvent être déterminantes
- Besoin de se **conformer aux directives** internes en matière d'**efficacité énergétique** et de **développement durable**
- **Délais contraints** pour la mise en œuvre des projets de réhabilitation énergétique

En réhabilitation énergétique industrielle, comprendre ces contraintes aide à :

- Proposer des solutions LED intelligentes clés en main, rapides à évaluer et à installer
- Mettre en avant les incitations et le RSI court pour convaincre les décideurs
- Accompagner les entreprises dans le respect de leurs exigences durables et contractuelles

# ACTIONS POSSIBLES POUR LES FOURNISSEURS D'ÉNERGIE (UTILITIES)

## ▪ Actions possibles pour les fournisseurs d'énergie (utilities)

1. **Accorder des incitations personnalisées** permettant de ramener le retour sur investissement (RSI) à  $\leq 2$  ans
2. **Parrainer un projet pilote** (test trial) pour **suivre et valider** la réduction de consommation énergétique
3. **Former** les équipes « efficacité énergétique » et les **partenaires** commerciaux aux **nouvelles technologies** LED intelligentes
4. **Étape suivante** : organiser une **visite de chantier** (site visit) coordonnée par MEEA (Midwest Energy Efficiency Alliance)

En **réhabilitation énergétique**, un tel accompagnement des fournisseurs d'énergie est déterminant pour :

- Sécourir le financement et les aides nécessaires
- Démontrer en conditions réelles les économies permises par les systèmes LED intelligents
- Développer les compétences internes des entreprises et de leurs prestataires
- Assurer un déploiement rapide et conforme aux objectifs de durabilité





# Intelligence Doesn't Cost More It Gives You More

Dans une logique de réhabilitation énergétique, ces trois piliers garantissent :

- 1.Des réductions de consommation maximales
- 2.Une adaptation continue aux besoins opérationnels
- 3.Une solution pérenne, sans coûts cachés de maintenance

