

# PROJET IMMOBILIER ENGIE-AXIMA

17 rue de la Mainguais - 44470 CARQUEFOU



53  
PEI

---

## RAPPORT D'ÉTUDE - PEI 53

### **Rédigé par :**

- Abdelhadi HARRAQ (chef de projet)
- Antonin BELOT
- Samuel TREBAUL
- Nicolas VAZQUEZ RAMIREZ
- Margaux CREDEVILLE
- Louise TERRIEN

### **A destination de l'entreprise ENGIE-AXIMA représentée par :**

- Lionel CHEVALIER (tuteur entreprise)

### **A destination des responsables du PEI à L'ÉCOLE CENTRALE :**

- Jean-Marc BENGUIGUI (président du jury)
  - Paul FRANÇOIS (tuteur école)
  - Catherine MICHEL (pilote PEI)
-

## PRÉFACE

Le présent document constitue une synthèse des travaux réalisés pour le compte de l'entreprise ENGIE-AXIMA dans le cadre de l'unité d'enseignement de PEI [ Projet d'études Industrielles ] à l'Ecole Centrale de Nantes. L'étude que l'entreprise nous a confié s'intéressait à leur bien immobilier à Carquefou, qui abrite aujourd'hui les services électricité et logistique d'ENGIE-AXIMA Nantes.

Le cahier des charges initial nous a proposé de mener une étude comparative de faisabilité et financière pour les deux scénarios suivants :

1. Rester à moyen ou long terme sur le site

Dans ce premier scénario, une première étude devait s'intéresser au remplacement de la couverture fibrociment et sa mise en conformité par des dispositifs appropriés. Puis une réflexion "*Green Building*" pouvait s'ouvrir à l'échelle du bâtiment (panneaux photovoltaïques, éclairage par LED, gestion des consommations...).

2. Délocaliser les activités (dans la métropole nantaise).

Dans ce second scénario, nous devons nous intéresser à la vente des locaux existants, à l'achat ou la location de nouveaux locaux (montage d'un projet immobilier avec un promoteur). Le rapprochement vers d'autres structures d'ENGIE-AXIMA était ici à privilégier.

Après reformulation et appropriation de ce cahier des charges, nous vous proposons le travail suivant pour répondre au mieux aux missions que nous avait confiées l'entreprise. Ce document se donne pour objectif de fournir à l'entreprise des études préliminaires sur différents critères (rénovation de la couverture, panneaux photovoltaïques, éclairage...) afin de faciliter les prises de décisions relatives à ce bien immobilier par les directeurs d'ENGIE-AXIMA.

# SOMMAIRE

## **CONTEXTE - pages 5 et 6**

Description du site, du cadre bâti et des enjeux du projet.

## **MÉTHODOLOGIE - pages 7 et 8**

Reformulation et appropriation du cahier des charges, déroulement du projet et définition des livrables.

## **ETUDES**

### **FICHE 1 : Rénovation de la couverture avec mise en conformité - pages 9 à 13**

Rapport d'étude de faisabilité et financière sur la rénovation de la couverture par un bac acier isolé et sur la mise en conformité par la pose de lanternes de désenfumage.

### **FICHE 2 : Installation de panneaux photovoltaïques en toiture - pages 14 à 16**

Rapport d'étude de faisabilité et financière sur la pose de panneaux photovoltaïques sur les pans de toiture orientés sud-est.

### **FICHE 3 : Eclairage naturel et artificiel - pages 17 à 25**

Rapport d'étude de faisabilité et financière sur la pose d'ouvertures zénithales et l'installation d'un éclairage artificiel par LED. L'accent est mis sur le concept d'autonomie en lumière naturelle afin de réaliser des économies énergétiques et financières.

### **FICHE 4 : Délocalisation des activités - pages 26 à 27**

Rapport d'étude de faisabilité et financière sur la délocalisation des activités vers la commune de Bouguenais, au sud-ouest de Nantes (rapprochement avec d'autres services d'ENGIE-AXIMA). L'étude porte essentiellement sur la détermination de prix au m<sup>2</sup> pour la location d'une halle industrielle sur cette commune.

## **SYNTHÈSE CROISÉE - pages 28 à 30**

Synthèse des différentes fiches produites précédemment et réalisation d'une matrice décisionnelle pour comparer les différents scénarios.

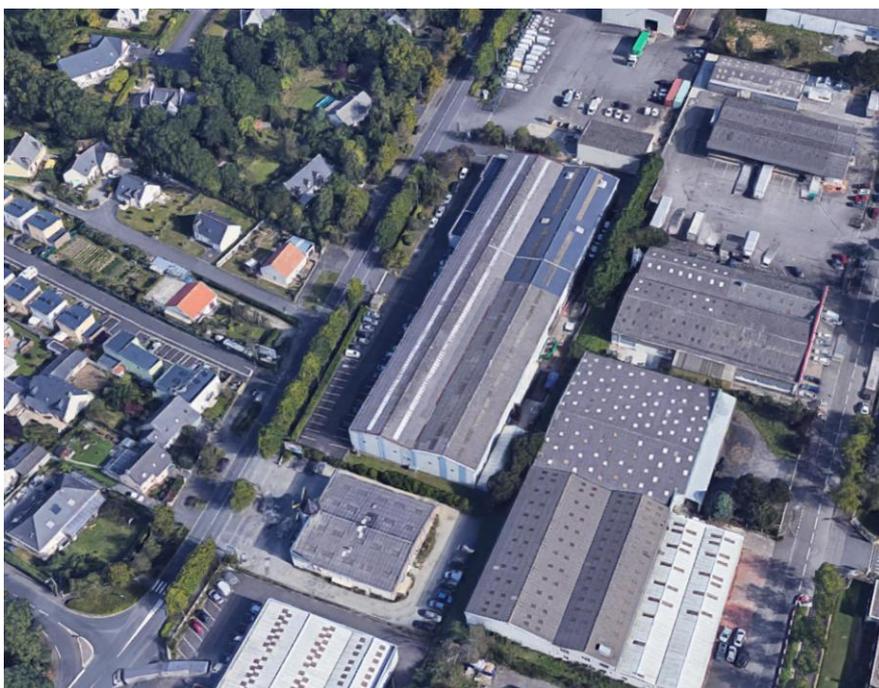
## **BIBLIOGRAPHIE - page 31**

## **ANNEXES - page 32**

Devis obtenus pour le désamiantage, la rénovation de la couverture ou la pose de panneaux photovoltaïques.

## CONTEXTE

Le groupe ENGIE-AXIMA est propriétaire depuis 2002 d'un bâtiment industriel à Carquefou d'une surface au sol d'environ 3600 m<sup>2</sup> (à laquelle il faut ajouter environ 100 m<sup>2</sup> de bureaux ). Celui-ci abrite aujourd'hui le service électricité de Nantes (études Électricité/Régulation, fabrication d'armoires/coffrets) et le service logistique (location d'outillage pour les chantiers) qui vient de s'installer sur le site depuis l'été 2017. Le service logistique occupait auparavant un bâtiment en location à Vertou et, à la fin du bail en juin 2017, les dirigeants d'ENGIE-AXIMA Nantes ont pris la décision de délocaliser cette activité sur le site de Carquefou<sup>1</sup>. Si le groupe ENGIE-AXIMA est devenu propriétaire de ce bien immobilier en 2002, il a amorti de manière linéaire l'achat du bien sur 20 ans (réglementation pour un bâtiment industriel). Les frais d'amortissement prendront ainsi fin en 2022.



*Fig. 1 : Vue aérienne du bâtiment industriel d'ENGIE-AXIMA à Carquefou*

Le bâtiment est constitué de deux nefs industrielles mitoyennes de dimensions : 110m en longueur, 17m en largeur et environ 10m du sol au faîtage. Le service logistique et outillage emploie 11 personnes et représente environ les  $\frac{1}{3}$  du bâtiment (environ 2900 m<sup>2</sup>, soit plus d'une nef et demi). La majeure partie de cet espace est un espace de stockage. Le service électricité emploie une quinzaine de personnes et

---

<sup>1</sup> Le service logistique et outillage vient remplacer un ancien service de préfabrication, dont l'activité a été arrêtée sur le site en décembre 2016.

représente environ  $\frac{1}{5}$  du bâtiment (environ 700 m<sup>2</sup>). L'entreprise dispose également d'un bâtiment de bureaux mitoyen, qui a été entièrement réhabilité récemment.

Les deux nefs sont portées par une structure principale en acier (entraxe des poteaux de la structure primaire : 10m). Une structure secondaire vient recouper cette trame en son milieu et renforce la stabilité de l'ensemble. La structure permet aussi de supporter 4 pont roulants<sup>2</sup>. L'enveloppe du bâtiment est constituée de panneaux sandwichs bardage métallique plein – isolation thermo-acoustique – bardage intérieur métallique perforé acoustique. La couverture, au dessus du service électricité, est une couverture isolée en bac acier. Celle située au dessus du service logistique est une couverture non isolée en fibrociment<sup>3</sup>. Cette couverture vétuste, contenant des fibres d'amiante, constitue l'élément moteur d'un éventuel projet de réhabilitation du bâtiment dans les années à venir.

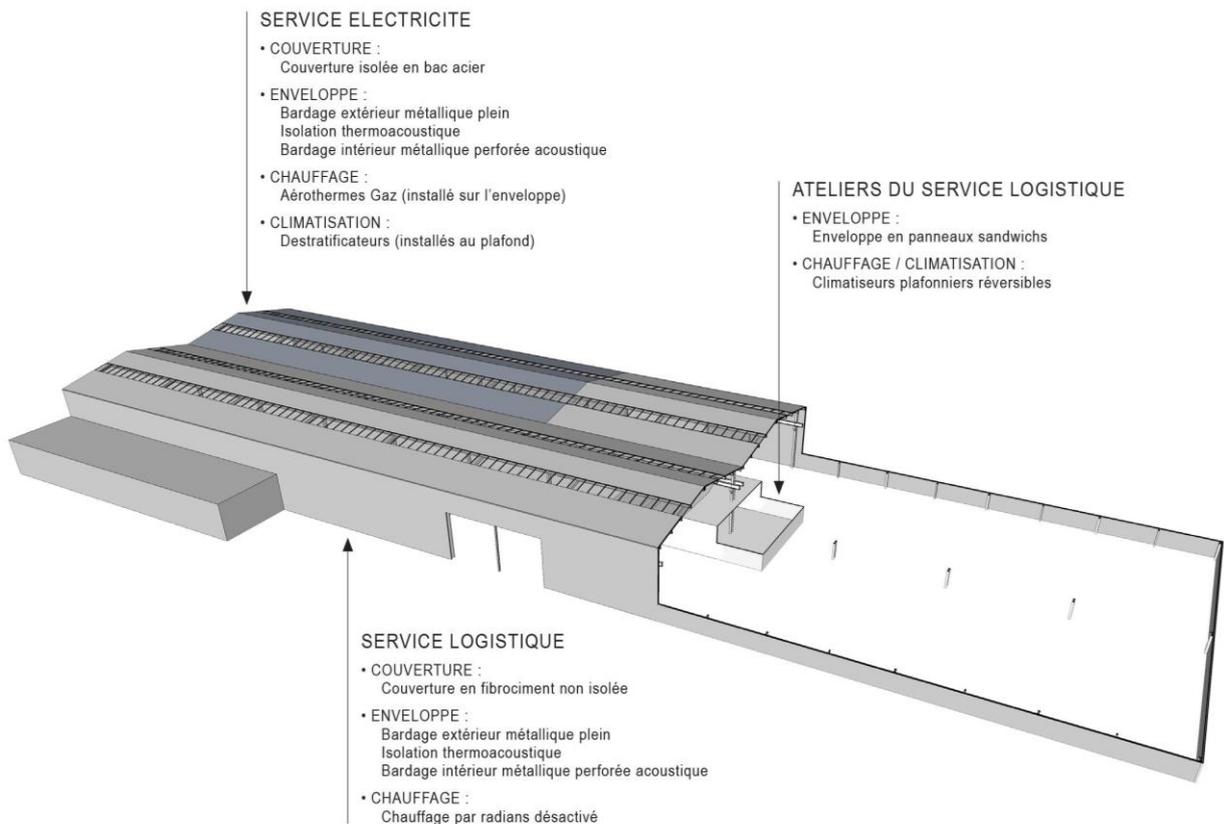
En effet, cette couverture en fibrociment est en très mauvais état et les interventions de maintenance deviennent de plus en plus délicates. Les risques d'effondrement potentiel et les risques sanitaires pour les employés du site sont à prévenir à moyen terme. La réglementation française n'interdit pas encore ce type de toiture<sup>4</sup>. Néanmoins, la proposition d'un tel sujet par l'entreprise ENGIE-AXIMA nous montre que l'entreprise réfléchit sérieusement au montage d'une opération immobilière de rénovation de la toiture afin de diminuer les risques potentiels et d'augmenter la valeur de son bien immobilier. Si l'entreprise prend la décision de rénover la couverture en fibrociment, d'autres réflexions peuvent être menées en parallèle : la mise en conformité de la nouvelle couverture avec des lanterneaux de désenfumage qui pourraient éventuellement permettre une ventilation naturelle l'été ; l'éventuelle pose de panneaux photovoltaïques qui pourraient compenser en tout ou en partie les frais d'électricité ; une meilleure gestion de l'éclairage naturel et artificiel des espaces afin de réaliser des économies énergétiques et financières...

---

<sup>2</sup> Trois ponts roulants sont situés dans le service logistique et sont peu utilisés. Le quatrième est situé dans le service électricité et est beaucoup plus utilisé pour le travail quotidien.

<sup>3</sup> Le fibrociment est un matériau composite : les fibres sont en amiante et la matrice en ciment.

<sup>4</sup> Les toitures en fibrociment sont seulement interdites sur les bâtiments neufs.



## MÉTHODOLOGIE

### 1. Trois scénarios guides

Rédaction du plan de développement

Le cahier des charges proposé par ENGIE-AXIMA était assez vaste : de nombreuses études auraient pu être menées. Dans un premier temps, l'équipe a dû comprendre et s'approprier le sujet et a proposé d'étudier les trois scénarios suivants :

- Scénario 1 : Rénovation de la couverture par un bac acier isolé et mise en conformité
- Scénario 2 : Rénovation de la couverture et approche *Green Building* à l'échelle du bâtiment (sous deux aspects : *Low-Tech* et *High-Tech*)
- Scénario 3 : Délocalisation des activités (vers la commune de Bouguenais)

Ces trois scénarios, proposés dans un premier temps dans le plan de développement, ont servi de fils conducteurs au sein du projet. Ils ont permis de simplifier le dialogue avec nos accompagnateurs à l'Ecole Centrale de Nantes et à l'entreprise ENGIE-AXIMA.

### 2. Propositions à l'entreprise

Construction d'une feuille de route

Pour essayer de mieux comprendre les attentes de l'entreprise, nous avons émis un certain nombre de propositions, plus ou moins ambitieuses et coûteuses, pour chacun des trois scénarios précédents. Lors d'une matinée de travail avec M. Chevalier, nous avons ainsi fait le tri parmi toutes ces propositions, en sélectionnant les plus intéressantes que nous avons approfondi par la suite. Les solutions retenues étaient finalement les plus abordables à tout point de vue. De ce fait, notre travail ne concerne pas des expérimentations à la pointe de la technologie mais des solutions soutenables financièrement pour l'entreprise. A la suite de cette réunion, nous avons produit une feuille de route, synthèse des différentes études à mener entre fin Mars et mi-Mai.

---

### **3. Conclusions sur les différentes études**

Rédaction de fiches de synthèse

6 études ont été menées de manière indépendantes et les résultats ont été transmis à l'entreprise sous la forme de fiches de synthèse / rapports d'études. Ces rapports d'études fonctionnent néanmoins tous de manière semblable : la méthode est expliquée et détaillée, les résultats sont analysés et une conclusion est produite. Après les remarques de l'entreprise et des responsables du PEI à l'École, ces fiches ont été améliorées et sont consignées dans le présent dossier<sup>5</sup>.

### **4. Production d'une matrice décisionnelle**

Rédaction du rapport d'étude final

Après avoir mené ces différentes études de manière indépendante, nous devons produire une synthèse croisée des travaux réalisés pour tenter de répondre au mieux au cahier des charges initial produit par l'entreprise. La dernière partie du présent dossier constitue cette synthèse croisée en proposant une matrice décisionnelle entre les trois scénarios initialement déterminés.

---

<sup>5</sup> Les fiches "Rénovation par un bac acier isolé" et "Mise en conformité de la couverture" ont été associées pour produire un unique document de synthèse. Les fiches relatives à l'éclairage artificiel et naturel des espaces ont aussi été mutualisées.

## FICHE 1

### RÉNOVATION DE LA COUVERTURE ET MISE EN CONFORMITÉ

#### *SCÉNARIO 1 : Rénovation par un bac acier isolé*

La couverture fibrociment au-dessus des espaces de travail et de stockage du service logistique (3000 m<sup>2</sup> environ) est aujourd'hui vétuste et nécessite une rénovation. Celle-ci devra répondre à de multiples enjeux :

- le désamiantage et la dépose de la couverture fibrociment
- la pose d'une couverture en bac acier isolé
- la mise en conformité de la couverture par des dispositifs de désenfumage (lanterneaux)

La couverture au-dessus du service électricité a été rénovée il y a une vingtaine d'années par la pose d'un bac acier isolé. Elle n'est donc pas prise en compte dans cette étude.

La majeure partie du bâtiment sert d'entrepôt de matériel et de passage et les employés d'Engie Axima ne sont pas amenés à y travailler sur de longues périodes.

Tout projet immobilier de rénovation de la couverture nécessitera au préalable une **étude de structure** car la pose d'un bac acier, d'isolation en laine de verre/roche ou de panneaux photovoltaïques entraînent des charges supplémentaires par rapport à une couverture en fibrociment. Une marge de sécurité doit être maintenue pour assurer les occasionnelles surcharges climatiques (règle Neige et Vent).

## 1. Désamiantage et dépose de la couverture fibrociment

Le désamiantage et la dépose de la couverture fibrociment pose l'une des deux problématiques suivantes :

- l'arrêt des activités sur une période prolongée
- la sécurité des employés pendant toute la durée des travaux, si les activités sont maintenues

Après discussion avec M. Chevalier, notre interlocuteur chez ENGIE-AXIMA, il a été convenu que le temps maximum d'arrêt des activités ne pouvait dépasser trois semaines en été et deux semaines en hiver.

Après discussion avec des entreprises de désamiantage, il serait très difficile de réaliser ces travaux en trois semaines. C'est pourquoi, le désamiantage de la couverture devrait être réalisé en maintenant les activités du service logistique au-dessous. Des méthodes existent mais nécessitent des précautions supplémentaires (filets, contrôles réguliers de la qualité de l'air...) et donc des coûts supplémentaires. Il serait aussi envisageable de réaliser les travaux par phases en entreposant le matériel de la zone traitée dans une autre zone du bâtiment pendant le temps de désamiantage. Cette solution a pour avantage d'être beaucoup moins contraignante pour l'entreprise de désamiantage, de représenter un risque moindre pour les travailleurs et d'engendrer un coût de désamiantage inférieur.

Des demandes de devis ont été envoyées à six entreprises de désamiantage / couvertures de la région nantaises. Seule l'entreprise Techlys a accepté de réaliser un devis pour le désamiantage et la dépose de la couverture. Dans une première approximation, Techlys propose de réaliser le désamiantage de la couverture en **25 jours minimum pour 130 000€** (ce prix comprend la dépose de la couverture en maintenant les activités au-dessous et la gestion des 28 tonnes de déchets).

L'entreprise propose une solution innovante qui permet de réaliser la dépose de la couverture en fibrociment avec maintien des activités au-dessous. La dépose serait réalisée en même temps que la pose de la nouvelle toiture (matin : dépose / après-midi : pose de la nouvelle toiture) afin de perturber le moins possible le travail des employés du site. Des contrôles de la qualité de l'air sont effectués chaque jour pour certifier de la protection des employés et les déchets contaminés sont pris en charge par l'entreprise. Techlys ne réalise pas directement la pose d'une nouvelle couverture en bac acier isolé mais travaille régulièrement avec les mêmes entreprise de couverture.

## 2. Pose d'une couverture en bac acier isolé

L'enveloppe du bâtiment est isolée, à l'exception de la couverture. De grandes portes, permettant le passage des camions de livraison, restent très souvent ouvertes. La température sous les nefs du service logistique est donc souvent voisine de la température extérieure<sup>6</sup>. Nous avons ainsi discuté avec M. Chevalier de la pertinence d'isoler ou non la nouvelle couverture en bac acier.

---

<sup>6</sup> Lors de périodes de grands froids en hiver, un chauffage par radiants peut être ré-activé sous les nefs. De plus, les portes à l'avant du bâtiment peuvent être ouvertes ou fermées

La température en été dans la halle industrielle est très élevée. Les ouvertures zénithales sont sans doute responsables de l'échauffement de l'air interne. Néanmoins, si la couverture en bac acier dans le futur projet n'est pas isolée, l'échauffement sera sans doute beaucoup plus important. Dans ce cas, isoler la couverture en bac acier ne permet donc pas de protéger du froid l'air intérieur en hiver mais de réguler la température en été. Ouvrir les lanterneaux de désenfumage en été permettra aussi de ventiler naturellement les espaces intérieurs du bâtiment et diminuer ainsi la température sous les nefs. (voir la troisième partie de cette fiche de synthèse)

Pour la mise en conformité de la couverture, il faudra veiller à discuter du choix de l'isolant et du classement au feu des différents matériaux avec le bureau de contrôle et l'assurance qui couvre le bâtiment. De plus, il est important de réfléchir au passage des DEP (descentes d'eaux pluviales) notamment au niveau du chéneau situé entre les deux nefs.

### **3. Mise en conformité par la pose de lanterneaux de désenfumage**

Les lanterneaux de désenfumage, couramment appelés *skydomes* (nom de la marque), peuvent assurer trois fonctions importantes : le désenfumage de la halle par l'ouverture automatique ou semi-automatique des lanterneaux en cas d'incendie, la ventilation naturelle des espaces l'été et l'éclairage naturel des espaces intérieurs tout au long de l'année.

#### **Réglementation pour une halle industrielle :**

Les lanterneaux de désenfumage doivent couvrir une surface d'au moins 1/100 de la surface au sol du bâtiment à désenfumer/ventiler.

#### **3.a) Première estimation**

Halle logistique : 3000 m<sup>2</sup> - il faut 30 m<sup>2</sup> de skydome

1 skydome : environ 1,5 m<sup>2</sup> - 20 skydomes sur l'ensemble de la toiture de la halle logistique (La halle électricité est déjà équipée conformément aux normes).

Contraintes pour la pose des skydomes sur la toiture :

- inclinaison du toit des halles : 11,9°
- toiture étanche de type bac acier
- 

---

régulièrement, ce qui n'est pas le cas de celle à l'arrière du bâtiment. Ce "rideau" métallique de 10 mètres de largeur n'est pas conçu pour s'ouvrir et se fermer en continu. Il reste donc ouvert toute la journée.

### 3.b) Choix du modèle de lanterneau

La solution qui semble la plus adaptée est le lanterneau type “Pyrodôme EvoluElec - 140 x 140” de la marque Skydome®.

**PYRODÔME® ÉVOLUÉLEC**  
en PCA

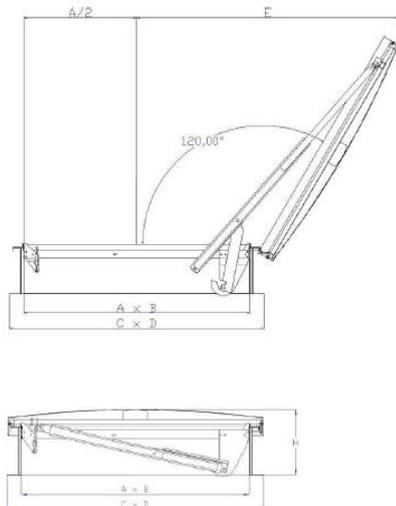


Fig.3 : Exemple de lanterneaux de désenfumage

Avantages : désenfumage pour la mise en conformité , ventilation naturelle pour la saison estivale, éclairage naturel

Ouverture : électrique

#### ▶ Caractéristiques électriques du moteur

Trémie (cm)	Intensité électrique (ampère)	Tension électrique (volt)
100 x 100	2.50	24
120 x 120	5.00	24
140 x 140	5.00	24

Caractéristiques identiques pour les remplissages : double dôme, PCA 10 et 16 mm et capot aluminium.

Tab. 1 : Caractéristiques électriques des différents moteurs utilisés pour ouvrir les lanterneaux

Les appareils sont équipés de boîtiers de raccordement.

Compatibilité avec le cahier des charges : inclinaison maximale pour la pose : 25°

2 options possibles :

- gamme “Classique”
- gamme “RT12+” (inclusion d’aérogel isolant LUMIRA®)

## Composition



	PYRODÔME®ÉVOLUÉLEC	REHAUSSE COIFFANTE PYRODÔME®ÉVOLUÉLEC	GAMME RT12	GAMME RT12+
<b>Support</b>	Toiture étanchéité	Remise en conformité ou rénovation	Toiture étanchéité / Remise en conformité	
<b>Remplissage</b>	PCA 10 opale multi-parois Ug=2.3 W/m².K Double dôme	PCA 10 opale multi-parois Ug=2.3 W/m².K Double dôme	PCA 16 opale multi-parois Ug=1.80 W/m².K	PCA 16 transparent avec inclusion d'aérogel LUMIRA™ Ug=1.31 W/m².K
<b>Cadre parclose</b>	Cadre en aluminium	Cadre en aluminium	Cadre en aluminium + joint sous remplissage	Cadre en aluminium + joint sous remplissage
<b>Cadre ouvrant</b>	Cadre en acier galvanisé	Cadre en acier galvanisé	Cadre en acier galvanisé + joint spécifique SKYDÔME®	Cadre en acier galvanisé + joint spécifique SKYDÔME®
<b>Costière</b>	Costière droite Acier galvanisé 12/10° Hauteur 310 mm avec un isolant surfacé bitumineux de 15 mm Mécanisme intégré et déporté pour les dimensions de trémie 100 x 100 cm et 120 x 120 cm Ouverture 120°	Costière d'adaptation chanfreinée avec talon de 83 mm et retombée de 40 mm Acier galvanisé 12/10° Hauteur 170 mm Mécanisme déporté pour les dimensions de trémie 100 x 100 cm et 120 x 120 cm Ouverture 120°	<b>Pour la toiture étanchéité :</b> Hauteur 310 mm ou 410 mm avec un isolant surfacé bitumineux de 30 mm  <b>Pour la remise en conformité :</b> Hauteur 170 mm avec un isolant de 30 mm et tôle de protection en acier galvanisé	
<b>Options (sur demande)</b>	Laquage intérieur (teintes RAL standard) PCA 16 mm, PCA confort, solar control IR Grille 1200 joules (galvanisée ou laquée) Hauteur de costière 410 mm Tôle colaminée en partie haute pour étanchéité PVC BAE, crosse de maintien	Laquage intérieur (teintes RAL standard) PCA 16 mm, PCA confort, solar control IR Grille 1200 joules ouvrante (galvanisée ou laquée) Largeur du talon sur demande pour l'adaptation sur le support existant Isolation de la costière avec un isolant de 15 mm et tôle de protection en acier galvanisé BAE, crosse de maintien	<b>Pour la toiture étanchéité :</b> Hauteur 410 mm Laquage intérieur (teintes RAL standard) Grille ou barreaudage 1200 joules (galvanisé ou laqué) Tôle colaminée en partie haute pour étanchéité PVC  <b>Pour la remise en conformité :</b> Laquage intérieur (teintes RAL standard) Grille ou barreaudage 1200 joules (galvanisé ou laqué) Largeur du talon sur demande pour l'adaptation sur le support existant BAE, crosse de maintien	

Conductance thermique de l'appareil calculée suivant le guide EUROLUX. Voir site [www.skydome.eu](http://www.skydome.eu) pour connaître les valeurs en fonction des dimensions.

Tab. 2 : Tableau comparatif des différents skydomes proposés par la marque

### Estimation financière :

Après simulation de calcul sur le site [skydome.eu](http://skydome.eu), 8 lanterneaux "Pyrodôme EvoluElec - 140 x 140" sont nécessaires par canton de 1500 m<sup>2</sup> soit **16 unités** au total.

## FICHE 2

### INSTALLATION DE PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES EN TOITURE

SCÉNARIO 2 : Rénovation Green Building - approche High-Tech

L'étude des panneaux photovoltaïques est intéressante car elle s'inscrit parfaitement dans le cadre d'une rénovation Green Building (utilisation d'énergie renouvelable). Il a été difficile d'obtenir des devis car les études doivent être assez poussées pour obtenir des valeurs de production les plus fiables possibles. L'entreprise Tecsol propose de faire une étude de faisabilité très détaillée pour un prix d'environ 4800 € : le devis pour cette étude est donné en annexe. Nous avons tout de même réussi à obtenir quelques données de l'entreprise Tecsol et un devis sommaire pour deux types de panneaux photovoltaïques de l'entreprise Systovi : les informations pour ces deux derniers panneaux photovoltaïques sont bien sûr plus précises (le devis est donné en annexe). Nous allons exploiter ces informations pour étudier et comparer les 3 projets photovoltaïques proposés. Dans notre étude, nous allons considérer que l'énergie solaire produite par les panneaux photovoltaïques est revendue intégralement.

#### 1. Etude des trois projets photovoltaïques proposés

Les informations utiles sur les 3 panneaux photovoltaïques que nous allons étudier sont résumées dans le tableau suivant :

	Surface (en m <sup>2</sup> )	Prix (en k€ HT)	Limite (en kWc)	Rendement (en %)
Tecsol	1000	150	125	21
Systovi 1	957	210	176	18
Systovi 2	957	172	153	18

Tab. 3 : Caractéristiques des 3 modèles de panneaux photovoltaïques étudiés

Remarque : pour les deux projets photovoltaïques de l'entreprise Systovi, les frais de transport ne sont pas inclus dans le devis.

Lors de notre étude, nous allons prendre le prix de référence donné par l'entreprise Tecsol pour le rachat de l'électricité : 0.10 € par kWh. Ce prix est bien sûr susceptible de changer, mais nous allons considérer que celui-ci est constant : certaines entreprises garantissent le prix de rachat pendant de longues durées (des dizaines d'années).

Pour quantifier l'irradiation en kWh/m<sup>2</sup>/jour sur une année, nous allons utiliser des données obtenues à l'aide du logiciel CalSol qui permet notamment d'effectuer des estimations pour les installations utilisant l'énergie solaire. Pour faciliter les calculs, nous allons supposer que l'irradiation est constante entre le début et la fin de chaque mois.

Irradiation sur un plan d'inclinaison 10° et d'orientation 135°.

[Comparaisons](#)

Irradiation :	jan	fév	mars	avr	mai	juin	juil	août	sep	oct	nov	déc	année
Directe (IBP)	0.2	0.54	1.53	1.98	2.13	2.97	2.94	2.55	1.84	0.85	0.34	0.14	1.51
Diffuse (IDP)	0.69	1.11	1.61	2.24	2.7	2.86	2.76	2.39	1.83	1.27	0.82	0.58	1.74
Réfléchie (IRP)	0	0	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0	0	0	0.01
Globale (IGP)	0.89	1.65	3.14	4.23	4.84	5.84	5.71	4.94	3.68	2.13	1.16	0.73	3.25

Tab. 4 : Irradiation en kWh/m<sup>2</sup>/jour sur plan incliné de 10° et orienté de 135°

À partir de ces données, nous avons déterminé les puissances perçues chaque mois par les panneaux photovoltaïques : lorsque ces puissances sont supérieures aux limites (en kWc) des panneaux photovoltaïques (cf tab. 3), nous ne considérons que ces limites. Ensuite, nous avons déterminé les productions annuelles des panneaux photovoltaïques, ce qui nous a permis d'en déduire les bénéfices annuels.

## 2. Résultats et conclusions

Les résultats suivants ont été obtenus grâce au logiciel Python (le programme informatique est donné en annexe). Les calculs ont été effectués pour une surface de panneaux photovoltaïques d'environ 1000 m<sup>2</sup>. La surface maximale totale qui peut accueillir des panneaux photovoltaïques est d'environ 1800 m<sup>2</sup>. Un coefficient de proportionnalité peut être appliqué pour déterminer une première estimation de la production et des bénéfices annuels totaux.

	Projet rentable au bout de : (en années)	Bénéfices annuels (en k€)	Production annuelle (en kWh)
Tecsol	8.6	17.4	173 628
Systovi 1	11.4	18.2	182 243
Systovi 2	10.1	16.8	168 289

Tab. 5 : Résultats de l'étude

Le projet Systovi 2 n'est pas rentable, car les bénéfices annuels sont inférieurs à ceux du projet Tecsol et la durée de rentabilité est supérieure à celle du projet Tecsol. Le projet Systovi 1 entraîne des bénéfices annuels supérieurs à ceux du projet Tecsol, mais la durée au bout de laquelle le projet est rentable est supérieure à celle du projet Tecsol de presque 3 ans. Finalement, le projet Tecsol semble être le plus avantageux, mais il faut garder à l'esprit que l'étude de ce projet a été menée sans un devis détaillé fourni par l'entreprise.

Remarque : les rendements des panneaux photovoltaïques sont susceptibles de diminuer avec le temps.

En supposant que les deux pans de toiture orientés au sud-est soit entièrement couverts par des panneaux photovoltaïques, la surface totale de panneaux pourrait

approcher 1800 m<sup>2</sup>. Il faudrait déduire de cette surface maximale la surface occupée par les lanterneaux de désenfumage.

Avec 1800 m<sup>2</sup> de panneaux photovoltaïques, nous pouvons obtenir une première approximation de la production d'énergie - 300 000 kWh environ - pour des bénéfices annuels d'environ 30 000€.

Les consommations annuelles du bâtiment sont données dans le tableau suivant.

	2012	2013	2014	2015	2017
Dépenses en eau	0	337,71 €	587,96 €	948,64 €	639,43 €
Consommation d'eau - m3	337	210	194	189	201
Dépenses en électricité	2 614,96 €	7 702,15 €	20 770,57 €	17 869,76 €	<b>14 457,56 €</b>
Consommation d'électricité - kWh (EDF puis ENGIE)	175117,0	145688,0	129180,0	114010	<b>98329</b>
Dépenses en gaz naturel	52 864,46 €	46 234,92 €	22 455,30 €	34 803,51 €	- €
Consommation en gaz naturel - kWh (GDF)	879961	735550	418814	487 184	-

*Tab. 6 : Consommations annuelles de bâtiment<sup>7</sup>*

Nous pouvons comparer ces premières estimations avec les résultats donnés dans la colonne "2017" du tableau. Il n'est pas très pertinent de comparer ces valeurs avec les colonnes précédentes car un ancien service de production occupait l'actuelle halle du service logistique (les machines des lignes de production devaient demander beaucoup d'énergie). Avant l'arrivée du service logistique, un contrat chez EDF et un contrat chez GDF permettaient de fournir l'énergie nécessaire. Aujourd'hui, un seul contrat chez ENGIE semble remplacer les deux anciens contrats et nous pouvons constater que les activités actuelles demandent beaucoup moins d'énergie que précédemment.

<sup>7</sup> Nous n'avons pas trouvé les factures pour l'année 2016 et le tableau de suivi des consommations n'a pas pu être complété. Nous l'avons cependant complété pour l'année 2017. En 2018, les consommations énergétiques seront sans doute proches de celles de 2017.

Avec une surface d'environ 1800 m<sup>2</sup> de panneaux photovoltaïques, nous pouvons constater que la production d'énergie serait, en théorie, 3 fois supérieure aux consommations actuelles (notamment si l'on réduit les consommations en éteignant les spots sous les deux nefs quand la lumière naturelle suffit - voir fiche 3). De plus, les bénéfices attendus seraient environ égaux au double du coût de l'électricité sur une année.

## FICHE 3 ECLAIRAGE NATUREL ET ARTIFICIEL

SCÉNARIO 2 : Rénovation Green Building - approche High-Tech et Low-Tech

Nous nous intéressons dans cette étude à l'éclairage des espaces du bâtiment par une lumière naturelle et artificielle. Actuellement, les ouvertures zénithales sont noircies par l'usure du polyester, et l'éclairage artificiel est assuré par des ampoules à incandescence disposées régulièrement sous les deux nefs du bâtiment. L'éclairage artificiel est sollicité presque tout au long de la journée alors que l'éclairage naturel pourrait souvent suffire. En conclusion, l'entreprise paie des factures d'électricité élevées qui pourraient sans doute être réduites. Nous allons tenter de quantifier les économies énergétiques et financières en mettant en avant une meilleure utilisation de la lumière naturelle (solution *Low-Tech*) et en installant des ampoules LED (solution *High-Tech*).

### 1. Détermination du flux lumineux nécessaire

Le flux lumineux d'une source correspond à la quantité de lumière rayonnée dans tout l'espace de cette source. Il s'exprime en lumen (lm). Celui-ci dépend notamment des caractéristiques des matériaux du local et d'un niveau d'éclairement seuil.

Le **flux lumineux** à apporter à un espace donné peut être estimé via la formule suivante :

$$F = \frac{EAU}{h}$$

où :

$F$  [lm] : est le flux lumineux à fournir

$A$  [m<sup>2</sup>] : est la surface du plan utile

$U$  : est l'utilance, caractéristique du local (dépend de sa géométrie et du caractère réflecteur des matériaux qui le composent)

$E$  [lx] : est l'éclairement prévu pour le local (200 lx pour le service logistique contre 300 lx pour le service électricité)

$d$  : est le facteur de dépréciation des lampes et luminaires

$h$  : est le rendement des luminaires

On obtient le tableau suivant :

	Service	Service	<b>Total</b>
--	---------	---------	--------------

	logistique	électricité	
Flux lumineux (lm)	770 000	480 000	<b>1 250 000</b>

Tab. 7 : Flux lumineux à fournir dans les différents espaces de travail

## 2. Eclairage Naturel

### 2.a) Première estimation

L'éclairement (E) d'une surface est le rapport du flux lumineux reçu sur l'aire de cette surface. Son unité est le lux, équivalent à 1lm/m<sup>2</sup>. Par exemple, le soleil d'été peut apporter un éclairage d'environ 100 000 lux. Les nuages peuvent altérer cet éclairage jusqu'à 80% en hiver (5000 lux). Selon des normes d'éclairage définies dans la loi française, la partie logistique de l'entrepôt nécessite un éclairage d'environ **150 lux**, contre **300 lux** pour le service électricité.

Un **facteur de lumière du jour** doit être pris en compte afin d'estimer l'éclairement réel à l'intérieur du bâtiment (par rapport à l'éclairement extérieur). En effet, la lumière du jour utilisable à l'intérieur de l'entrepôt diffère de celle disponible à l'extérieur (passage de fenêtres, reflets...). On définit le **facteur de lumière du jour** comme suit :

$$FLJ = 100 \frac{E_{int}}{E_{ext}}$$

Il peut être estimé à partir de la géométrie du bâtiment, ainsi que des caractéristiques de transmission et de réflexion des matériaux le composant :

$$FLJ = \frac{Sv \theta}{(St - R)}$$

Avec :

- Sv : surface nette de vitrage
- T : facteur de transmission d'un vitrage
- St : surface totale de toutes les parois
- $\theta$  angle du ciel visible depuis la fenêtre
- R : facteur de réflexion moyen des parois du local

Dans la configuration actuelle, on calcule **FLJ = 2%** pour l'entrepôt de Carquefou.

Ainsi **en plein été Eint = 2000 lux, et en hiver Eint = 100 lux.**

**Dans une première approche, nous pouvons en conclure que l'éclairage intérieur pourrait être majoritairement assuré par la lumière du jour.**

Dans la suite de cette étude, nous allons prendre comme seuil d'éclairement de référence **200 lux** dans les espaces du service logistique. En effet, pour pouvoir lire correctement un document, 200 lux sont nécessaires.

## 2.b) Etude des ouvertures zénithales

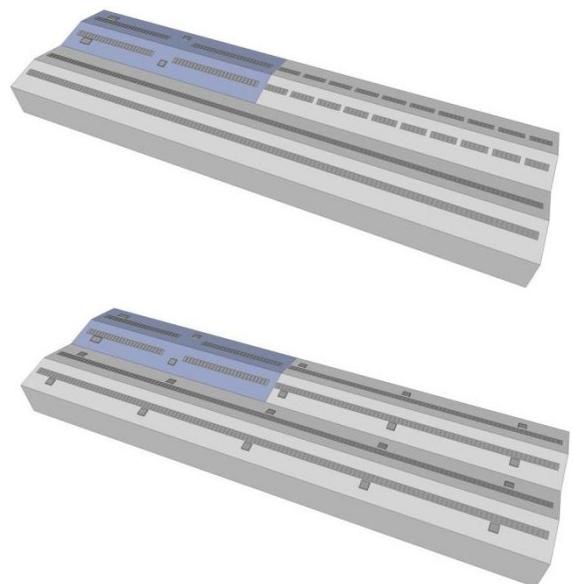
L'apport de la lumière naturelle dans l'éclairage de l'entrepôt semble considérable. Il s'agit maintenant de définir la répartition et les dimensions des surfaces vitrées pour conserver une autonomie en lumière naturelle suffisante dans les espaces de la Halle Logistique. La halle actuelle du service logistique contient des ouvertures zénithales en polyester, sales et dégradées. Elles permettent néanmoins de laisser passer la lumière naturelle pour éclairer les espaces intérieurs en journée. Le confort de travail pour les employés est bien supérieur en présence de lumière naturelle. C'est un critère non mesurable mais qui ne doit pas être oublié dans la présente étude.

La rénovation de la couverture par un bac acier isolé peut s'envisager avec ou sans ouvertures zénithales. Pour que l'ensemble de l'enveloppe du bâtiment soit isolée convenablement, ces ouvertures peuvent être envisagées en verre (très cher) ou en polycarbonate alvéolaire (recommandé et très couramment utilisé pour la rénovation de bâtiments industriels). Le polycarbonate alvéolaire est constitué de plusieurs couches de polycarbonate. Les vides créés entre ces différentes couches assurent une isolation thermique convenable pour un local industriel. Le polycarbonate est un matériau moins isolant que le verre et possède un coefficient de réflexion supérieur (donc un coefficient de transmission inférieur). Il est cependant beaucoup moins cher et sans doute mieux adapté pour cette utilisation. A noter que le polycarbonate présente une bien meilleure tenue dans le temps que le polyester qui a tendance à noircir rapidement (notamment si des travaux de nettoyage et maintenance sont difficiles et coûteux à réaliser).

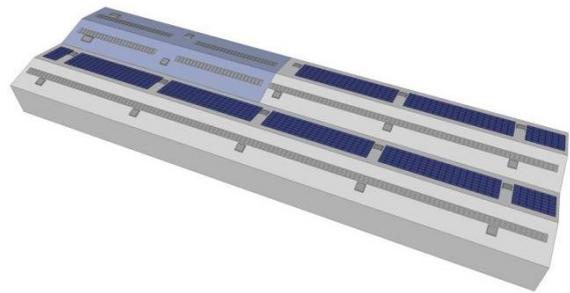
La présence d'ouvertures zénithales et l'éclairage des espaces de la halle en lumière naturelle pourraient permettre d'éteindre la lumière artificielle et ainsi réaliser des économies d'énergies. Nous allons essayer de quantifier ces économies d'énergies et les comparer avec les coûts supplémentaires engendrés par la pose d'ouvertures zénithales en polycarbonate.

Cette étude a été réalisée pour 3 cas distincts :

- Cas 1 : Situation actuelle, avec des ouvertures en polyester
- Cas 2 : Rénovation en bac acier avec la pose d'ouvertures en verre (disposition identique par rapport aux ouvertures actuelles) et la mise en conformité du bâtiment avec des lanterneaux de désenfumage (© Skydome)



- Cas 3 : Rénovation en bac acier avec mise en conformité (lanterneaux de désenfumage). Les pans de toiture orientés nord-ouest présentent des ouvertures zénithales (même disposition que les ouvertures actuelles). Les pans de toiture orientés sud-est supportent des panneaux photovoltaïques.



**Méthode :**

- Estimation du coût engendré par la pose d'ouvertures zénithales
- Calcul de l'autonomie en lumière naturelle des espaces de la halle "Logistique"
- Calcul des économies réalisées par jour et par an, en éteignant la lumière artificielle quand la lumière naturelle suffit.
- Comparaison entre les coûts et les économies réalisés.

*Le Daylight Autonomy ou l'autonomie en lumière naturelle est défini comme étant le pourcentage des heures occupées par an, où le niveau minimum d'éclairement requis peut être assuré par la seule lumière naturelle. Un objectif raisonnable est d'arriver à un temps d'utilisation de l'éclairage naturel d'au moins 50-60 % (pour un horaire de 8h00 à 18h00).*

Dans la présente étude, nous calculons l'autonomie en lumière naturelle à l'aide du plugin Sketchup, DL-Light Autonomie Lumineuse, développé par l'agence DE LUMINAE (agence d'études et de recherches en éclairage naturel et artificiel, économies d'énergie et confort pour le bâtiment). Ce logiciel prend en compte :

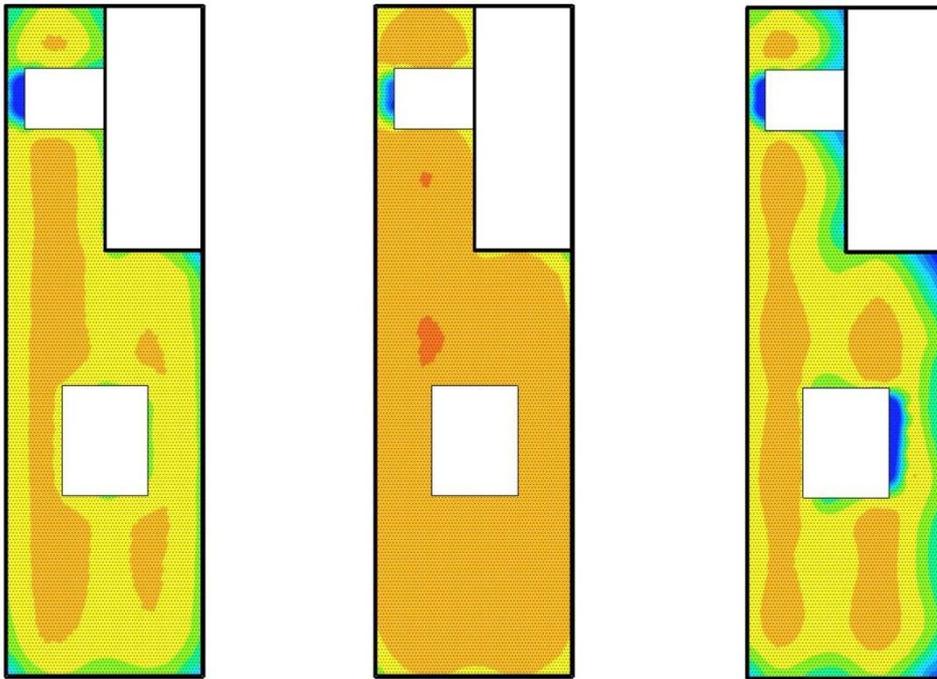
- la localisation du projet (Nantes) et les données météorologiques associées sur plusieurs années (l'éclairement extérieur en lux tout au long de l'année).
- les coefficients de réflexion des différentes parois du local.
- le temps de travail : 5 jours par semaine, de 8h à 18h

On aboutit aux résultats suivants :

- Estimation du coût engendré par la pose d'ouvertures zénithales

	Cas 1 Situation actuelle	Cas 2 Rénovation par bac acier	Cas 3 Rénovation par bac acier
Matériau	polyester	polycarbonate alvéolaire	polycarbonate alvéolaire
Surface vitrée	470 m <sup>2</sup>	530 m <sup>2</sup>	285 m <sup>2</sup>





Autonomie en lumière naturelle moyenne (à partir de la simulation) entre 8h et 18h	85 %	88,5 %	81,5%
------------------------------------------------------------------------------------	------	--------	-------

Fig. 4 : Autonomie en lumière naturelle moyenne entre 8h et 18h

Par exemple, dans la situation actuelle :

85% du temps, entre 8h et 18h, pour les 5 jours de travail de la semaine, l'éclairage naturel suffit et les spots pourraient être éteints.

Néanmoins, les surfaces en polyester sont sales et dégradées. De plus, ce calcul a été effectué par un modèle très simplifié de la réalité : la structure métallique et les racks de rangement n'ont pas été modélisés.

Une correction devrait être appliquée pour se rapprocher davantage de la réalité. Pour se faire, nous proposons de considérer par la suite non pas l'autonomie en lumière naturelle moyenne mais la plus faible (sans considérer les abords des ateliers blancs qui seront éclairés par la lumière artificielle émanant des ateliers, ni les espaces de rangement aux angles du bâtiment).

Donc, par approximation :

	Cas 1 Situation actuelle	Cas 2 Rénovation par bac acier Ouvertures sur 4 pans de toiture	Cas 3 Rénovation par bac acier Ouvertures sur 2 pans de toiture
Autonomie en lumière naturelle entre 8h et 18h	environ 80 %	environ 85 %	environ 75 %
Économies d'énergie réalisées par jour	105,6 kWh	112,2 kWh	99 kWh
Économies d'énergie réalisées par an	27 456 kWh	29 172 kWh	25 740 kWh
Économies par an	environ 4390 €	environ 4670 €	environ 4120 €

*Tab. 9 : Économies énergétiques et financières réalisées par an*

Comparaison entre les coûts d'installation et les économies réalisés :

	Cas 1 Situation actuelle	Cas 2 Rénovation par bac acier Ouvertures sur 4 pans de toiture	Cas 3 Rénovation par bac acier Ouvertures sur 2 pans de toiture
Coût supplémentaire engendré par la pose d'ouvertures		environ 53 000 €	environ 28 500 €
Économies par an	environ 4390 €	environ 4670 €	environ 4120 €

*Tab. 10 : Comparaison entre les coûts supplémentaires et les économies réalisées*

#### Remarques :

- La modélisation est très simplifiée par rapport à la réalité mais s'appuie néanmoins sur des données fiables (la localisation, les données météorologiques, les coefficients de réflexion des parois).
- Les calculs ont été effectués par rapport à un niveau de référence de 250 lux qui permet théoriquement à un salarié de travailler dans la halle sans lumière naturelle. Néanmoins, en fonction du temps, nous ne percevons pas les espaces de la même manière. Par un temps nuageux par exemple, l'éclairage intérieur pourrait être supérieur à 250 lux mais les travailleurs pourraient avoir tendance à allumer la lumière artificielle. Les résultats trouvés ci-dessus sont donc à pondérer.

### **3. Eclairage LED**

#### **3.a) Choix de la technologie LED**

Si l'éclairage naturel est sans doute capable d'assurer la majeure partie des besoins en éclairage, des améliorations peuvent néanmoins être proposées en termes d'éclairage artificiel. En effet, les ampoules actuelles à incandescence sont très énergivores. On peut donc songer à les remplacer par la technologie LED, qui fournit un éclairage puissant pour un coût plus réduit : les lampes LED ont une forte **efficacité lumineuse**.

On définit l'efficacité lumineuse (ou rendement lumineux) d'une source par le quotient de son flux lumineux  $\Phi$  par sa puissance P. Elle s'exprime en lm/W.

De plus, selon le syndicat de l'éclairage, les lampes LED donnent un meilleur confort au travail (meilleure visibilité et impact positif sur l'humeur des ouvriers).

#### **3.b) Combinaison éclairage LED / éclairage naturel**

La simulation précédente montre que, pour les différents cas étudiés, pendant plus de 80% du temps, l'éclairage naturel seul peut suffire et l'éclairage artificiel peut être éteint. En se basant de plus sur les statistiques météorologiques de la région nantaise, on dresse le tableau suivant :

	Printemps	Été	Automne	Hiver	<b>Moyenne annuelle</b>
Nombre d'heures entre 8h et 18h où l'éclairage artificiel est en fonctionnement	1,5	0	2,5	4	<b>2</b>

*Tab. 11 : Nombre d'heures d'éclairage artificiel nécessaires suivant la saison*

Remarque : Pour assurer une combinaison efficace éclairage artificiel – éclairage naturel, il est possible de mettre en place des **détecteurs de présence avec régulation de l'éclairage**. Ces capteurs se basent sur des variations du rayonnement infrarouge reçu et permettent à l'éclairage artificiel d'entrer en fonctionnement uniquement lorsque l'éclairage naturel ne permet pas d'assurer les 150 ou 200 lux requis dans la halle (choix d'un niveau seuil de référence doit être fixé au préalable. La loi préconise 150 lux minimum, la pratique le fixe plutôt à 200 lux).

Cependant l'investissement dans ce genre de technologie ne semble pas suffisamment pertinent, étant donnée le temps d'éclairage quotidien et la nature des activités dans la halle logistique (principalement du stockage..). C'est pourquoi cette solution ne sera pas étudiée davantage.

### **Calcul des coûts et des économies réalisées en adoptant la technologie LED :**

L'installation des dispositifs d'éclairage LED, pour le service logistique et le service électricité, est estimée à environ 5000€ (prix du matériel et frais d'installation).

Le rendement lumineux d'une lampe LED est d'environ 100 lumen/watt. Cela signifie donc que pour obtenir les 1 250 000 lumen calculés en première partie, il faut fournir une puissance électrique de **12,5kW**. En considérant qu'il faut éclairer artificiellement en moyenne 2h par jour tout au long de l'année, avec un prix du kWh de 0.16€, on obtient une **facture annuelle d'environ 1050€ en utilisant la technologie LED**.

Actuellement, les 43 luminaires à incandescence ont une puissance de 400W chacun. Cela nous donne une facture annuelle de **1450€** si ces 43 luminaires n'étaient allumés que 2h par jour en moyenne. Dans la situation actuelle (8h d'éclairage en moyenne par jour), la facture s'élève à **5730€**.

Cela représente donc une **économie annuelle de 28% (400€)** sur le prix de l'électricité avec 2h d'utilisation quotidienne (en passant de lampes à incandescence à des lampes LED).

D'où le tableau récapitulatif suivant :

	Cas 1 Situation actuelle	Cas 2 Rénovation par bac acier Ouvertures sur 4 pans de toiture	Cas 3 Rénovation par bac acier Ouvertures sur 2 pans de toiture
Economies par an sans éclairage LED (2h d'éclairage artificiel)	Environ 4390€	environ 4670 €	environ 4120 €
Économies par an avec éclairage LED	environ 4890 €	environ 5170 €	environ 4620 €

Tab. 12 : comparaison des économies réalisées dans les trois cas en utilisant ou non la technologie LED

#### 4. Conclusion

La lumière naturelle peut largement subvenir aux besoins en éclairage dans l'entrepôt.

Associée à un éclairage artificiel LED, les économies financières sont conséquentes, comme résumé dans le tableau suivant :

		Cas 1 Situation actuelle	Cas 2 Rénovation par bac acier Ouvertures sur 4 pans de toiture	Cas 3 Rénovation par bac acier Ouvertures sur 2 pans de toiture
Investissements	Coûts supplémentaires engendrés par la pose d'ouvertures zénithales		53 000€	28 500€
	Coût de l'installation des ampoules LED	5000€	5000€	5000€
Gains annuels		4890€	5170€	4626€
Rentable au bout de :		1 an	12 ans	7 ans

Tab. 13 : Bilan

## FICHE 4

### DÉLOCALISATION DES ACTIVITÉS

#### SCÉNARIO 3 : Délocalisation des activités dans la métropole Nantaise

L'objectif de cette partie est l'étude de la faisabilité du déménagement des activités dans de nouveaux locaux. Le client tient à rester sur l'agglomération nantaise ; la recherche se limitera donc à cette zone. Dans le but de choisir la meilleure localisation, il est important de prendre en considération plusieurs éléments au delà du prix : accessibilité du bâtiment (transports, proximité avec les autres zones d'activités du groupe ENGIE - Axima...), préférence des employés...

#### 1. Achat de locaux neufs ou existants

Deux exemples pour l'achat d'un local existant :

- BNP Paribas Real Estate vend un local industriel existant d'une surface de 4400 m<sup>2</sup> sur la commune de Bouguenais pour le prix de 1 800 000€.
- À Saint Herblain, BNP Paribas Real Estate vend un local industriel d'une surface d'environ 3000m<sup>2</sup> pour un prix de 1 900 000€.

Après montage d'un projet immobilier avec un promoteur, la moyenne des prix d'achats d'un bâtiment industriel neuf sur la métropole nantaise est de l'ordre de 1000€ par m<sup>2</sup> (3 600 000€ pour un bâtiment de 3 600m<sup>2</sup>). Un prix légèrement inférieur doit sans doute être appliqué dans les communes en périphérie de Nantes comme Carquefou ou Bouguenais.

Devenir propriétaire de locaux neufs ou existants ne constitue pas la politique actuelle d'ENGIE-AXIMA. C'est pourquoi, nous nous intéressons dans cette quatrième partie principalement à la location de locaux neufs ou existants.

#### 2. Location de locaux neufs ou existants

Nous avons sélectionné un ensemble d'annonces (sur les sites de plusieurs agences, principalement Advenis et BNP Paribas Real Estate) de locaux industriels d'une surface supérieure à 2000 m<sup>2</sup>. Ces locaux présentent tous des caractéristiques communes avec le bien immobilier actuel que possède ENGIE-AXIMA à Carquefou : halle

industrielle avec possibilité de charger/décharger les camions à l'intérieur du bâtiment ou à quai. Les prix de location se répartissent autour de 50€/m<sup>2</sup>/an HT HC. Ils fluctuent néanmoins beaucoup en fonction de la localisation et de l'état (neuf, existant) du bâtiment. Le tableau suivant présente les caractéristiques de quelques annonces intéressantes. Les annonces relatives à des bâtiments en location dans la commune de Bouguenais ou à proximité sont classées dans la seconde partie du tableau.

Type de bâtiment	Localisation	Neuf ou existant ?	Superficie	€ HT HC/m <sup>2</sup> /an	Loyer mensuel (€ HT HC)
Local industriel	Nantes - Gare maritime	Existant	2312 m <sup>2</sup>	52	10 083
Local industriel	Chantenay Nantes	Existant	2900 m <sup>2</sup>	50	12 083
Local industriel	St Herblain	Existant	3100 m <sup>2</sup>	52	13 433
Local industriel	Carquefou	Existant	3494 m <sup>2</sup>	40	11 647
Local activités ou industriel	Bouguenais	Existant	2150 m <sup>2</sup>	28	5 000
Local industriel	Bouguenais	Neuf	1200 m <sup>2</sup>	67	6700
Local industriel	Pont Saint Martin	Neuf	3482 m <sup>2</sup>	61	17 599
Local industriel	Les Sorinières	Existant	2146 m <sup>2</sup>	51	9 174

*Tab. 14 : Informations relatives aux annonces étudiées*

Au regard des exemples cités ci-dessus, la location d'un bâtiment existant, de dimensions similaires au local étudié à Carquefou, coûte environ 50€ par m<sup>2</sup> et par an. (soit un loyer mensuel de 15 000€ pour un local de 3 600 m<sup>2</sup>). La location d'un bâtiment

neuf, après montage d'un projet immobilier avec un promoteur, coûterait un peu plus de 60€ par m<sup>2</sup> et par an (soit un loyer mensuel d'environ 18 000€ pour 3 600 m<sup>2</sup>).

## SYNTHÈSE CROISÉE

### *Construction d'une matrice décisionnelle*

Cette dernière partie se donne pour objectif d'apporter des conclusions à ce travail de PEI par rapport aux missions que l'entreprise ENGIE-AXIMA nous avait confié dans le cahier des charges (voir Préface). Bien entendu, il n'est pas de notre ressort de prendre une décision ou d'orienter l'entreprise vers l'un ou l'autre des deux choix : rester sur le site ou délocaliser les activités vers de nouveaux locaux. Chacune des options présentent des avantages différents et reste possible économiquement pour l'entreprise. Par la matrice décisionnelle suivante, construite en deux parties distinctes ("Présentation des solutions" et "Estimations financières"), nous avons voulu effectuer une synthèse croisée des études précédemment établies pour construire un premier outil de prise de décision pour les dirigeants d'ENGIE-AXIMA.

Une approche *Green Building* peut être envisageable dans les deux cas. Un projet immobilier pour le site de Carquefou peut inclure certaines installations orientées *Green Building*, permettant de réaliser des économies énergétiques et financières non négligeables à long terme (comme ont pu le démontrer les études précédentes). De la même manière, il est possible de mener des études *Green Building* dans le second cas, si l'entreprise décide de monter un projet immobilier avec un promoteur (tout en restant locataire).

Finalement, les estimations financières présentées dans la seconde partie de la matrice décisionnelle suivante ne sont que des ordres de grandeur des coûts pour les différents travaux effectués. Ils ont été déterminés à partir des recherches réalisées et des devis que nous avons reçu<sup>9</sup> et présentent une fiabilité sans doute suffisante pour commencer à réfléchir à la décision à prendre.

---

<sup>9</sup> Sources pour les estimations financières données dans la matrice décisionnelle :

- Désamiantage : devis de Techlys
- Pose d'une couverture bac acier et mise en conformité : recherches et devis d'ENGIE-AXIMA Couverture Bardage
- Ouvertures zénithales et éclairage par LED : recherches
- Installation de panneaux photovoltaïques : devis de Tecsol et Systovi
- Vente, Achat, Location de biens immobiliers : recherches

**MATRICE DÉCISIONNELLE 1/2**  
**PRÉSENTATION DES SOLUTIONS**

	Scénarios 1 et 2	Scénario 3
	Projet immobilier sur le site de Carquefou	Vente du bien immobilier à Carquefou Achat ou Location d'un nouveau local industriel
<b>Présentation de la solution</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Désamiantage et dépose de la couverture fibrociment.</li> <li>- Rénovation de la couverture par des bacs acier isolés.</li> <li>- Mise en conformité par la pose de lanterneaux de désenfumage.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Délocalisation des activités sur l'agglomération nantaise.</li> <li>- Rapprochement avec d'autres structures appartenant à ENGIE-AXIMA.</li> <li>- Priorité donnée à la location (politique actuelle d'ENGIE-AXIMA).</li> </ul>
<b>Approche Green Building (choix)</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Installation de panneaux photovoltaïques pour produire de l'électricité et la revendre sur le réseau.</li> <li>- Création d'ouvertures zénithales en toiture pour exploiter au maximum la lumière naturelle et réaliser des économies.</li> <li>- Installation d'éclairage par LED pour diminuer les consommations énergétiques.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Une réflexion <i>Green Building</i> pourrait être envisageable sur les nouveaux locaux choisis. Elle serait sans doute facilitée si l'entreprise choisissait de monter un projet immobilier avec un promoteur (tout en restant en location par la suite pour satisfaire à la politique actuelle de l'entreprise).</li> </ul>
<b>Avantages</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Risques sanitaires totalement écartés.</li> <li>- Mise en conformité de la couverture</li> <li>- Travaux de maintenance facilités</li> <li>- Augmentation de la valeur du bien</li> <li>- Économies énergétiques et</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Stratégie à long terme pour le développement des activités</li> <li>- Nouveau bâtiment, peut être plus adapté aux besoins des deux services (si montage d'un projet immobilier avec un promoteur)</li> <li>- Rapprochement avec d'autres services d'ENGIE-AXIMA</li> </ul>

	financières en choisissant les solutions <i>Green Building</i> envisagées	
<b>Inconvénients</b>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nouveau changement de lieu de travail pour les employés</li> <li>- Perturbations des activités le temps du déménagement</li> </ul>

<b>MATRICE DÉCISIONNELLE - 2/2</b> ESTIMATIONS FINANCIÈRES			
Scénarios 1 et 2		Scénario 3	
<b>Projet immobilier sur le site de Carquefou</b>		<b>Achat/Vente d'un local industriel neuf</b>	
<u>Investissements</u>		Prix d'achat/vente d'un local industriel d'environ 3600 m <sup>2</sup>	3 600 000 €
Dépose et traitement de la couverture fibrociment	130 000 €	Amortissement linéaire sur 20 ans pour l'achat (5%)	180 000 €/an
Pose d'une couverture en bac acier isolé	200 000 €	<b>Achat/Vente d'un local industriel existant</b>	
Mise en conformité de la couverture (lanterneaux de désenfumage)	30 000 €	Prix d'achat/vente d'un local industriel d'environ 3600 m <sup>2</sup>	2 000 000 €
+ <i>Choix</i> : Pose d'ouvertures zénithales (285 m <sup>2</sup> ) (économies : <b>4100€/an</b> )	30 000 €	Amortissement linéaire sur 20 ans pour l'achat (5%)	100 000 €/an
+ <i>Choix</i> : Installation d'un éclairage par LED sous la halle (économies : <b>500€/an</b> si couplé avec ouvertures zénithales)	5 000 €		
+ <i>Choix</i> : Installation de panneaux photovoltaïques en toiture (1800 m <sup>2</sup> ) (économies : <b>30 000€/an</b> )	270 000 €	<b>Location d'un local industriel neuf</b>	
<b>Total HT</b> (tous choix compris)	<b>695 000 €</b>	Loyer mensuel (HT, HC) pour un local industriel d'environ 3600 m <sup>2</sup>	<b>18 000 € / mois</b>
TVA (19,6%)	136 220 €	Prix au m <sup>2</sup> par an (HT HC)	60 € /m <sup>2</sup> /an

<b>Total TTC</b>	<b>831 220 €</b>	Loyer annuel (HT, HC)	216 000 € / an
		<b>Location d'un local industriel existant</b>	
<u>Amortissement</u>		Loyer mensuel (HT, HC) pour un local industriel d'environ 3600 m <sup>2</sup>	<b>15 000 € / mois</b>
Amortissement linéaire sur 10 ans (10%)	83 122€ /an	Prix au m <sup>2</sup> par an (HT HC)	50 € /m <sup>2</sup> /an
Amortissement linéaire sur 20 ans (5%)	41 561 € /an	Loyer annuel (HT, HC)	180 000 € / an

## BIBLIOGRAPHIE

### PANNEAUX PHOTOVOLTAÏQUES

*CalSol - gisement solaire.* Disponible sur : [http://ines.solaire.free.fr/gisesol\\_1.php](http://ines.solaire.free.fr/gisesol_1.php)  
[consulté le 10/05/2018]

### ECLAIRAGE NATUREL ET ARTIFICIEL

*CADIERGUES Roger. Les installations d'éclairage : règles et méthodes.* XPAIR.  
Disponible sur [https://conseils.xpair.com/actualite\\_experts/installations-eclairage-regles-methodes.htm](https://conseils.xpair.com/actualite_experts/installations-eclairage-regles-methodes.htm) [consulté le 14/05/2018]

*Puissance, Flux lumineux et Angle lumineux.* ADDIS Lighting. Disponible sur  
<https://addislighting.com/technologie-led/puissance-flux-lumineux-et-angle-lumineux/>  
[consulté le 21/05/2018]

*Qualité de vie au travail et éclairage.* Syndicat de l'éclairage. 14/06/2016. Disponible sur  
<http://www.syndicat-eclairage.com/qualite-de-vie-travail-eclairage/> [consulté le  
21/05/2018]

*BALEZ Suzel. L'éclairage naturel.* 2007. Disponible sur  
<http://www.grenoble.archi.fr/cours-en-ligne/balez/L5C-SB02-naturel1.pdf> [consulté le  
21/05/2018]

*Détecteurs de présence.* Theben - energy saving comfort. Disponible sur  
<https://www.theben.fr/Les-detecteurs-de-presence-commandent-l-eclairage> [consulté  
le 21/05/2018]



# Resumen en español del proyecto inmobiliario para ENGIE-AXIMA

## Índice

1. Contexto y objetivos.....	2
2. Mejoras propuestas .....	3
2. 1. Renovación del tejado.....	3
2. 2. Instalación de paneles fotovoltaicos .....	4
2. 3. Iluminación natural y artificial .....	5
3. Desplazamiento de las actividades .....	6
4. Conclusión .....	7

## 1. Contexto y objetivos

La empresa ENGIE-AXIMA es propietaria desde 2002 de un local situado en Carquefou, uno de los numerosos municipios con elevada presencia industrial que rodean Nantes, capital de la región francesa Loire-Atlantique, y gran ciudad industrial del oeste de Francia, donde tienen sus sedes principales empresas del tamaño y nivel de Airbus. Antes de esa fecha, la empresa poseía un local cerca del centro de Nantes, pero debido a la revalorización del suelo en el casco urbano, desplazaron sus actividades a una nave industrial en la periferia.

Dicha nave, de 3600 m<sup>2</sup> de superficie, posee fibras de amianto. Si bien la legislación francesa prohíbe desde hace pocos años la utilización de amianto para la construcción de nuevos locales, todavía no obliga a eliminarlo en edificios ya existentes. Sin embargo, la dirección de la empresa cree que el gobierno seguirá dando pasos para eliminar definitivamente este material tóxico de todos los locales, creencia reforzada por la nominación el año pasado del Nicolas Hulot, ecologista de gran prestigio en Francia que ya rechazó la cartera ministerial ofrecida primero por Nicolas Sarkozy y después por François Hollande, como ministro de la Transición Ecológica por el presidente Macron.

Por tanto, la empresa ha decidido adelantarse a los acontecimientos y solucionar de manera permanente el problema que supone el amianto. Para ello, barajan dos escenarios posibles. El primero consistiría en la eliminación del amianto de la nave actual, con la posibilidad de introducir otros cambios y mejoras en el edificio, como por ejemplo la instalación de placas solares en el tejado para autoabastecerse de energía, o instalar iluminaciones interiores de tipo LED para ahorrar en consumo energético. La segunda opción consistiría en vender el local actual y trasladarse a otro lugar de la periferia nantesa, que pudiese tener unas características lo más similares posible a las del local actual.

El objetivo final es producir una síntesis cruzada de los costes, ventajas y desventajas de cada uno de los escenarios, para ayudar a la dirección de la empresa a decidir el rumbo a seguir en los próximos años.

## 2. Mejoras propuestas

### 2. 1. Renovación del tejado

Esta parte consiste básicamente en el estudio de la sustitución de la cobertura actual, que posee fibras de amianto, por paneles sándwich (acero-aislante-acero). Para realizar la obra, sería necesario detener la actividad en el edificio, debido a los peligros para los trabajadores derivados de la toxicidad del amianto. Desde la empresa calculan que no podrían detener la producción durante más de dos semanas en invierno o tres semanas en verano, un espacio de tiempo claramente insuficiente para llevar a cabo la renovación de los 3600 m<sup>2</sup> de tejado.

Afortunadamente, la empresa Techlys nos ofrece la posibilidad de retirar el amianto, manteniendo inalterada la actividad debajo. Sin embargo, el proceso requerirá más tiempo, y será más caro. Techlys propone un presupuesto de 130 000€, y un plazo para finalizar la retirada de no menos de 25 días. En este supuesto, ellos se encargarían de la gestión de los residuos, pero no tienen la capacidad de instalar los paneles sándwich.

Respecto a los paneles propiamente dichos, habría que valorar diferentes materiales y posibilidades, por lo que no podemos hacer una estimación exacta del precio. También depende de la posible instalación de skydomes, que servirían para regular la temperatura en verano y ventilar el local en caso de que hubiese problemas con humo. Las características de dichas skydomes aparecen la tabla 1, a continuación.

## Composition



	PYRODÔME®ÉVOLUÉLEC	REHAUSSE COIFFANTE PYRODÔME®ÉVOLUÉLEC	GAMME RT12	GAMME RT12+
<b>Support</b>	Toiture étanchéité	Remise en conformité ou rénovation	Toiture étanchéité / Remise en conformité	
<b>Remplissage</b>	PCA 10 opale multi-parois Ug=2.3 W/m².K Double dôme	PCA 10 opale multi-parois Ug=2.3 W/m².K Double dôme	PCA 16 opale multi-parois Ug=1.80 W/m².K	PCA 16 transparent avec inclusion d'aérogel LUMIRA™ Ug=1.31 W/m².K
<b>Cadre parciose</b>	Cadre en aluminium	Cadre en aluminium	Cadre en aluminium + joint sous remplissage	Cadre en aluminium + joint sous remplissage
<b>Cadre ouvrant</b>	Cadre en acier galvanisé	Cadre en acier galvanisé	Cadre en acier galvanisé + joint spécifique SKYDÔME®	Cadre en acier galvanisé + joint spécifique SKYDÔME®
<b>Costière</b>	Costière droite Acier galvanisé 12/10° Hauteur 310 mm avec un isolant surfacé bitumineux de 15 mm Mécanisme intégré et déporté pour les dimensions de trémie 100 x 100 cm et 120 x 120 cm Ouverture 120°	Costière d'adaptation chanfreinée avec talon de 83 mm et rebombée de 40 mm Acier galvanisé 12/10° Hauteur 170 mm Mécanisme déporté pour les dimensions de trémie 100 x 100 cm et 120 x 120 cm Ouverture 120°	<b>Pour la toiture étanchéité :</b> Hauteur 310 mm ou 410 mm avec un isolant surfacé bitumineux de 30 mm  <b>Pour la remise en conformité :</b> Hauteur 170 mm avec un isolant de 30 mm et tôle de protection en acier galvanisé	
<b>Options (sur demande)</b>	Laquage intérieur (teintes RAL standard) PCA 16 mm, PCA confort, solar control IR Grille 1200 joules (galvanisée ou laquée) Hauteur de costière 410 mm Tôle colaminée en partie haute pour étanchéité PVC BAE, crosse de maintien	Laquage intérieur (teintes RAL standard) PCA 16 mm, PCA confort, solar control IR Grille 1200 joules ouvrante (galvanisée ou laquée) Largeur du talon sur demande pour l'adaptation sur le support existant Isolation de la costière avec un isolant de 15 mm et tôle de protection en acier galvanisé BAE, crosse de maintien	<b>Pour la toiture étanchéité :</b> Hauteur 410 mm Laquage intérieur (teintes RAL standard) Grille ou barreaudage 1200 joules (galvanisé ou laqué) Tôle colaminée en partie haute pour étanchéité PVC  <b>Pour la remise en conformité :</b> Laquage intérieur (teintes RAL standard) Grille ou barreaudage 1200 joules (galvanisé ou laqué) Largeur du talon sur demande pour l'adaptation sur le support existant BAE, crosse de maintien	

Conductance thermique de l'appareil calculée suivant le guide EURDLUX. Voir site [www.skydome.eu](http://www.skydome.eu) pour connaître les valeurs en fonction des dimensions.

Tabla 1: Comparación de las diferentes skydomes propuestas

## 2. 2. Instalación de paneles fotovoltaicos

En esta sección, estudiaremos la posibilidad de instalar paneles solares en el nuevo tejado, trabajando con tres ofertas que hemos recibido. En Francia no está permitido el autoconsumo para grandes superficies de placas solares, por lo que la energía obtenida debería ser vendida a Electricité de France. Esta opción es especialmente interesante porque el precio al que se vende el kWh es superior al precio de compra medio, por lo que aunque estuviese permitido el autoconsumo, venderla a EDF sería una opción mucho más interesante desde un punto de vista económico.

Después de plantear varias hipótesis para simplificar el problema, como la uniformidad de la radiación solar a lo largo de todo el año o el no deterioro de los paneles, llegamos a los resultados reflejados en la tabla 2.

	Projet rentable au bout de : (en années)	Bénéfices annuels (en k€)	Production annuelle (en kWh)
Tecsol	8.6	17.4	173 628
Systovi 1	11.4	18.2	182 243
Systovi 2	10.1	16.8	168 289

Tabla 2: Resultados del estudio

En esta tabla podemos apreciar que el proyecto que presenta la empresa Tecsol es el más interesante, ya que aunque los beneficios sean ligeramente inferiores a los del primer proyecto de la empresa Systovi, los rentabilizamos tres años antes, lo cual casa mejor con la política de ENGIE-AXIMA.

Por otro lado, solo podríamos instalar los paneles sobre una superficie de 1800 m<sup>2</sup> de tejado, las zonas orientadas hacia el sudeste. Esto conllevaría unos beneficios anuales de 30 000€, lo que supone el doble del coste de la energía que se consume en la planta.

## 2. 3. Iluminación natural y artificial

En este apartado, trataremos diversas maneras de optimizar la iluminación de la nave. Actualmente, el mal estado de las claraboyas existentes hace necesario el uso de iluminación artificial durante toda la jornada laboral. Además, el sistema de iluminación existente está compuesto por bombillas incandescentes, cuya eficiencia es reducida.

Tras realizar una serie de cálculos, llegamos a la conclusión de que la intensidad lumínica que puede alcanzar la luz natural oscila entre un máximo de 2000 lux en verano y un mínimo de 100 lux en invierno, lo cual nos permitiría cubrir gran parte de la demanda lumínica del local, que es de media 200 lux.

Para cubrir los nuevos ventanales en el techo, proponemos el uso de policarbonato en lugar de cristal, mucho más caro, o poliéster, que tiende a ennegrecerse con mayor rapidez. Estudiaremos tres situaciones comparativamente, también en función de otras propuestas contempladas en el proyecto. En el primero, estudiamos la situación actual; en el segundo, planteamos la renovación del tejado con la instalación de las nuevas claraboyas en policarbonato, que tendría un coste de instalación de 53 000€; finalmente, en el tercero trabajamos con la hipótesis de la instalación de los paneles solares, añadida al segundo caso, que conllevaría un coste de 28 500€. En la tabla 3 recogemos los resultados a los que hemos llegado trabajando con diferentes programas de simulación.

	Cas 1 Situation actuelle	Cas 2 Rénovation par bac acier Ouvertures sur 4 pans de toiture	Cas 3 Rénovation par bac acier Ouvertures sur 2 pans de toiture
Autonomie en lumière naturelle entre 8h et 18h	environ 80 %	environ 85 %	environ 75 %
Économies d'énergie réalisées par jour	105,6 kWh	112,2 kWh	99 kWh
Économies d'énergie réalisées par an	27 456 kWh	29 172 kWh	25 740 kWh
Économies par an	environ 4390 €	environ 4670 €	environ 4120 €

Tabla 3: Ahorros energéticos y económicos anuales

Respecto a la iluminación artificial, actualmente la iluminación incandescente cuesta 5370€ anuales, ya que ha de permanecer encendida durante 8 horas al día. Sin embargo, calculamos que con la apertura de las nuevas claraboyas solo sería necesario mantenerla encendida 2 horas al día, lo cual reduciría la factura eléctrica a 1450€ anuales. Si sustituimos dicha iluminación por una de tipo LED, el nuevo coste anual sería de 1050€, lo que supone un ahorro del 28%. Además, el LED presenta otras ventajas, como por ejemplo la preferencia de los operarios a trabajar con dicha iluminación frente a las bombillas incandescentes.

### 3. Desplazamiento de las actividades

En esta parte, analizaremos las ofertas del mercado inmobiliario, tanto de compra como de alquiler, que se ajusten a los criterios impuestos por la empresa. Dado que los precios del mercado son muy oscilantes en función de diversos factores, como puede ser la localización del edificio, su antigüedad o su acceso a las principales arterias de comunicación.

El precio medio del metro cuadrado para local industrial en Nantes es de 1000€; por tanto, el precio de un local de 3600m<sup>2</sup> sería teóricamente de 3 600 000€. Sin embargo, de cara a la venta del local actual, estimamos que no se podrían obtener más de 2 000 000€ de ella, debido a la presencia de amianto en el tejado.

Sin embargo, la política de ENGIE-AXIMA es el alquiler de locales industriales, no su posesión, por lo que hemos estudiado con especial atención este segmento del mercado. Partiendo de

una muestra de anuncios expuesta en forma de tabla en el proyecto, hemos observado que el precio medio es de 50€/m<sup>2</sup>/año, por lo que estimamos que el alquiler medio mensual para un local de las características del que ENGIE-AXIMA ocupa actualmente sería de entre 15 000€ y 18 000€.

## 4. Conclusión

Todos los apartados anteriores nos proporcionan suficientes datos como para poder producir una serie de elementos que ayuden a la toma de decisiones, que en el proyecto aparecen principalmente bajo la forma de tablas.

Por un lado, desde un punto de vista estrictamente económico, el precio estimado de las mejoras propuestas para el edificio actual (renovación del tejado, instalación de paneles fotovoltaicos, iluminación LED, etc.) estaría en torno a los 850 000€. Si se toma la decisión de cambiar de local, su alquiler sería de 180 000€ anuales.

Desde un punto de vista más general, la inversión en la mejora del edificio actual tendría efectos positivos sobre la imagen “ecofriendly” de la empresa, además de que permitiría una mejora sustancial de las condiciones de trabajo. Además, los trabajadores tienden a oponerse a los cambios de lugar de trabajo, ya que para ellos puede suponer una distorsión importante.